№ 10. Warszawa, 25 października 1930 r. Rok VIII.

TECHNIKA CIEPLNA

Czasopismo Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie

OFICJALNY ORGAN POLSKIEGO KOMITETU NORMALIZACYJNEGO DLA SPRAW KOTŁOWYCH

REDAKTOR: Inż. techn. JAN KOMARNICKI

Wydawca: Stowarzyszenie Dozoru Kotłów w Warszawie.

REDAKCJA I ADMINISTRACJA: WARSZAWA, PIĘKNA 32, m. 12. TEL. 301-47.

GODZINY BIUROWE: REDAKCJI—PIĄTKI, OD 18 DO 20, ADMINISTRACJI—CODZIENNIE, OD 10 DO 15

KARL FREY, inż. Baden.

OSTATNIE ZDOBYCZE I STAN OBECNY BUDOWY TURBIN PAROWYCH

Po wygłoszeniu odczytów w Warszawie, Katowicach i Łodzi, chcąc zadość uczynić życzeniu moich łaskawych słuchaczy i wszystkich interesujących się budową turbin parowych, postanowiłem ogłosić treść ich w *Technice Cieplnej.* W artykule konieczną była zmiana ujęcia tematu oraz odpowiedni dobór ilustracyj.

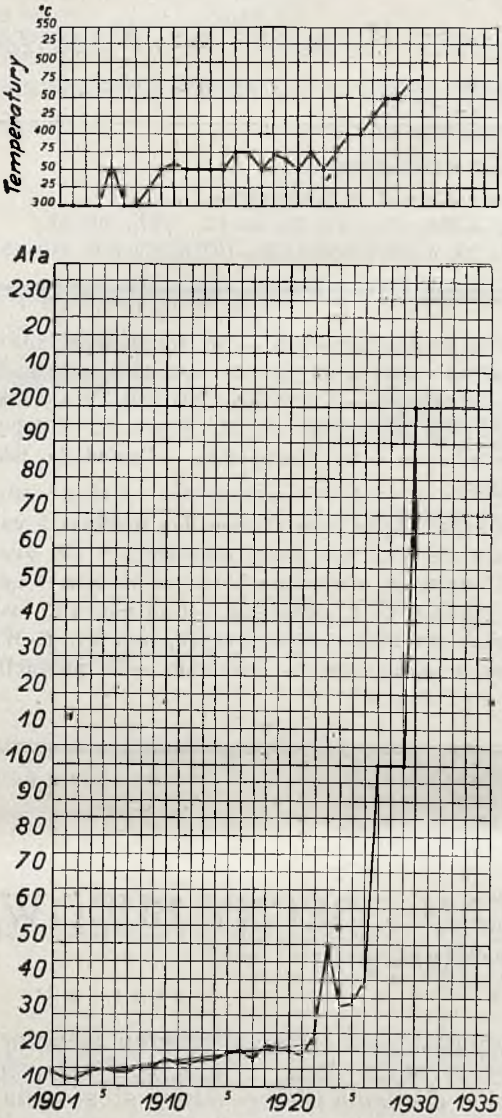
Budowa turbin parowych poczyniła w ostatnich latach duże postępy i jest rzeczą bardzo ciekawą, rozważyć poszczególne czynniki, konieczne do zobrazowania całokształtu.

Najdosadniej scharakteryzujemy postęp budowy turbin przez rozpatrzenie granicy ciśnień, temperatur i osiągalnego skutku użytecznego nowoczesnych centrali oraz obecnej wielkości mocy krańcowej dla silników parowych. Mniej więcej dziesięć lat temu zadowolniano się w budowie turbin parowych podwyższeniem sprawności przez powiększenie mocy poszczególnych grup, bez uciekania się do podwyższenia ciśnienia i temperatury pary dolotowej; dopiero od roku 1920 powstaje tendencja powiększenia spadku cieplika w samej turbinie. Rys. 1 wskazuje nam maksymalne ciśnienia i temperatury stosowane przez firmę B r o w n   B o v e r i w poszczególnych latach.

Górną granicą stanu pary dolotowej było przez czas dłuższy 10-15 *atn* 350-375 ^{0}C., potem raptownie ciśnienie pary wzrosło do 25, 50, 100 i wreszcie dzisiaj do 200 *atn*, które można uważać za ostateczny kres.

Śledząc równocześnie wzrost stosowanych temperatur, zauważymy stały postęp, lecz w porównaniu z ciśnieniami znacznie powolniejszy. Wyczuwamy pewną ostożność ze strony konstruktorów przy podwyższaniu temperatury pary dolotowej, jednakże corocznie posuwamy się mniej więcej o 25^{0}C. i obecnie jako granicę można podać 480^0 do 500^0. P
damy tutaj przyczyny tego jednostro
rozwoju. Przez specjalnie dostosow
strukcję jest rzeczą możliwą utrz
puszczalnych granicach napręż
unikając przytem nierównomier
wania i powstawania dodatkowyc

Znacznie mniej korzystnie przdstawia się sprawa temperatury pary dolotowej. Od szeregu lat posiadamy rezultaty doświadczeń,

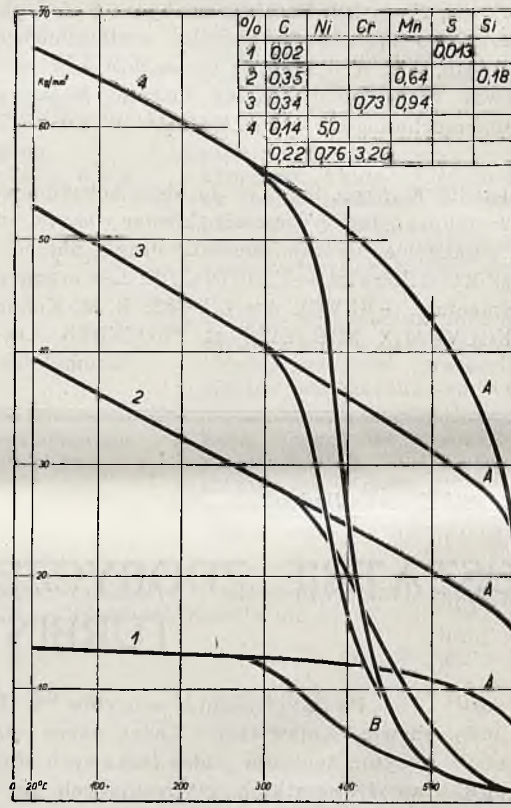


Rys. 1. Temperatura i ciśnienie pary dolotowej stosowane przez firmę Brown Boveri w poszczególnych latach

które wykazały, że wszystkie używane materjały konstrukcyjne tracą swe cechy wytrzymałościowe wraz ze wzrostem temperatury. Powyższe rezultaty były otrzymane zapomocą tak zwanej krótko trwającej próby na rozerwanie, przy której badana próbka posiadała żądaną wysoką temperaturę, lacz sam proces rozerwania następował natychmiast. Dalej idące badania wykazały, że wspomniane dane były błędne, i że już od pewnej temperatury, różnej dla każdego materjału, zachodzą powolne odkształcenia przy stałem (ciągłem) obciążeniu, nawet wówczas, gdy naprężenia w materjale są niższe od naprężeń odpowiadających granicy sprężystości podczas krótkotrwałej próby na rozerwanie przy tej samej temperaturze. Zwłaszcza duże znaczenie miało ustalenie faktu, że domieszki do żelaza zarówno chromu, jak i niklu pozostają bez żadnego wpływu na wytrzymałość trwałą.

Natomiat wykazano, że niewielkie ilości molibdenu, wolframu i wanadu powodują znaczne polepszenie ciągłej wytrzymałości materjału przy wysokich temperaturach.

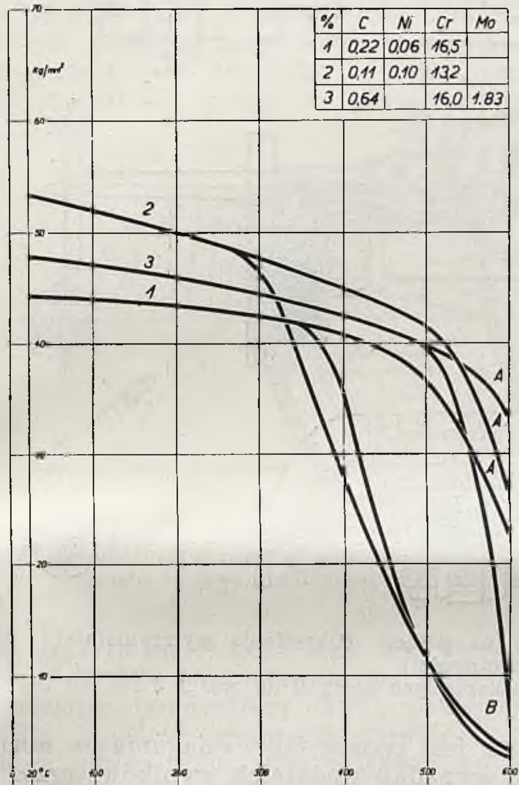
Na rysunkach 2 do 4 widzimy poszczególne właściwości wytrzymałościowe. Stal 1 (rys. 2) jest t. zw. żelazem Armco (specjalnie czyste żelazo) i wykazuje nam podczas krótkotrwałej próby mniej więcej równomierną linię granicy sprężystości, zaczynającą powoli opadać przy 500° ewentualnie przy 600°*C*.



Rys. 2. Wyniki rozrywania stali na gorąco
A—granica sprężystości przy próbie krótkotrwałej
B—wytrzymałość stała przy próbie długotrwałej

Natomiast ciągła wytrzymałość odchyla się dość znacznie przy 300° i przy 400° posiada zaledwie połowę, przy 500° zaś zaledwie $^1/_4$ pozornej granicy sprężystości. Wytrzymałość stali 2 o większej zawartości węgla, manganu i krzemu opada od początkowo korzystnej granicy sprężystości znacznie szybciej, lecz równomierniej do 600°. Ciągła wytrzymałość natomiast zaczyna się różnić przy temperaturze około 350°, lecz jest znacznie korzystniejsza, niż u poprzedniej stali. Stal 3, zawierająca 5% niklu i ponad 3% chromu, oraz stal 4, zawierająca 1% niklu i ponad 3% chromu posiadają korzystną granicę sprężystości, aż do 500° ewentualnie 600°, lecz ciągła wytrzymałość zaczyna już silnie opadać przy

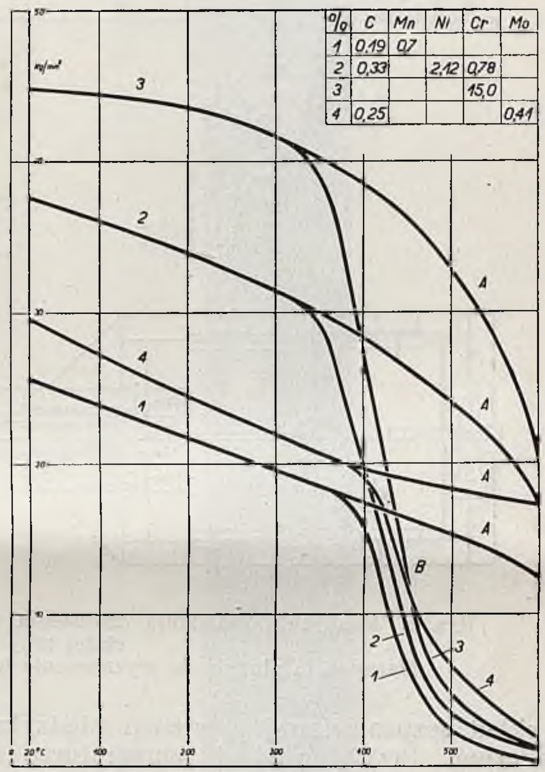
300°*C*, tak dalece, że przy temperaturze powyżej 400° jest niższa, niż u stali 2. Na rysunku 3 stal 1, zawierająca 16,5% chromu, posiada aż do temperatury około 400° względnie dobrą granicę sprężystości, lecz potem zauważamy silniejszy spadek nawet podczas krótkotrwałej próby. To samo można powiedzieć o stali 2, zawierającej około 13% chromu. Lecz oba te gatunki stali pod względem ciągłej wytrzymałości nie posiadają większej wartości, ponieważ wspomniana wytrzymałość już przy temperaturze około 300° tak



Rys. 3. Wyniki rozrywania stali na gorąco
A—granica sprężystości przy próbie krótkotrwałej
B—wytrzymałość stała przy próbie długotrwałej

silnie maleje, że posiada przy 500° zaledwie $^1/_4$ pozornej granicy sprężystości. Stal 3 zawiera oprócz 16% chromu jeszcze niespełna 2% molibdenu. Ma ona podobny przebieg linji granicy sprężystości, lecz wytrzymałość ciągła zaczyna odstępować od linji granicy sprężystości dopiero od temperatury 500°, potem zaś między 500° i 600° gwałtownie opada. Z powyższego widać bardzo wyraźnie, że domieszka do stali 1 ewentualnie 2 niewielkiej ilości molibdenu wywiera duży wpływ na wytrzymałość przy wysokich temperaturach. Należy przytem zwrócić uwagę, że powyższa cecha wytrzymałościowa jest niezależna od zawartości chromu i niklu w żelazie, lecz jest jedynie uwarunkowana obecnością molibdenu. Na rys. 4 obserwujemy podobne zjawisko u stali lanej. Stal 4 z domieszką molibdenu nie posiada korzystnej linji granicy sprężystości, jak stal 2 lub 3 z zawartością chromu i niklu, lecz wytrzymałość stała stali 4 jest największa przy temperaturze 450° ze wszystkich gatunków stali lanej.

Porównanie rys. 2, 3 i 4 wskazuje, że ze stalą laną nie osiągnięto jeszcze tak dobrych rezultatów jak ze stalą kutą z domieszką molibdenu. Wspomniane wyniki ze stalą laną zostały osiągnięte dopiero w ostatnich czasach i przewaga stali kutej z punktu widzenia wytrzymałości przy wysokich temperaturach, wprowadziła niektórych konstruk-

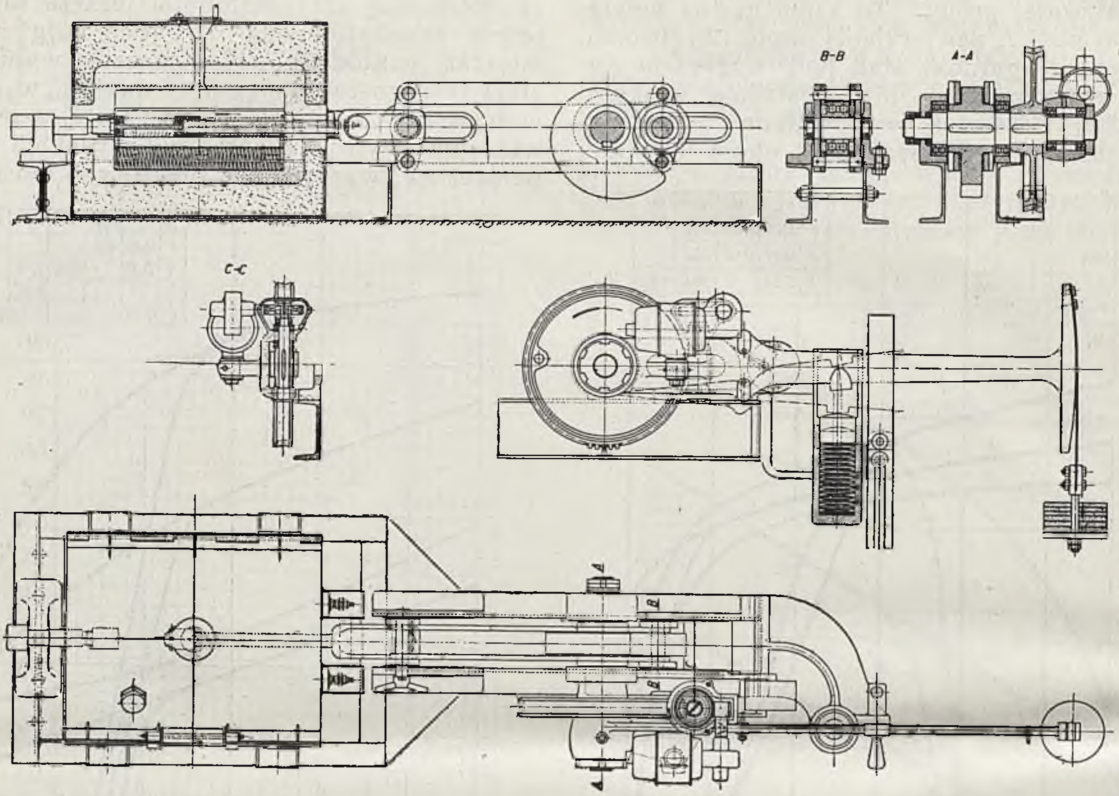


Rys. 4. Wyniki rozrywania stali lanej na gorąco
A—granica sprężystości przy próbie krótkotrwałej
B—wytrzymałość stała przy próbie długotrwałej

torów na drogę zastępowania stali lanej stalą kutą. W ten sposób wykonane konstrukcje osłon są oczywiście bardzo niezgrabne i ciężkie. Niemożliwe jest przytem nadanie ściankom równomiernej grubości wobec czego zalety bardziej odpornego na temperatury materjału stają się wątpliwe, ponieważ nierównomierne grubości ścianek pociągają za sobą niejednakowe nagrzewanie poszczególnych części osłony i powodują stałe odkształcenia dzięki nadmiernym naprężeniom. Stąd widać jak konstruktor turbinowy uzależniony jest od odlewnika i należy się spodziewać, że dopiero spółpraca tych fachowców doprowadzi do otrzymania najbardziej pod względem wytrzymałościowym korzystnego przy wysokich temperaturach stopu. To osobliwe zachowanie się przy wysokich temperaturach naszych materjałów konstrukcyjnych jest spo-

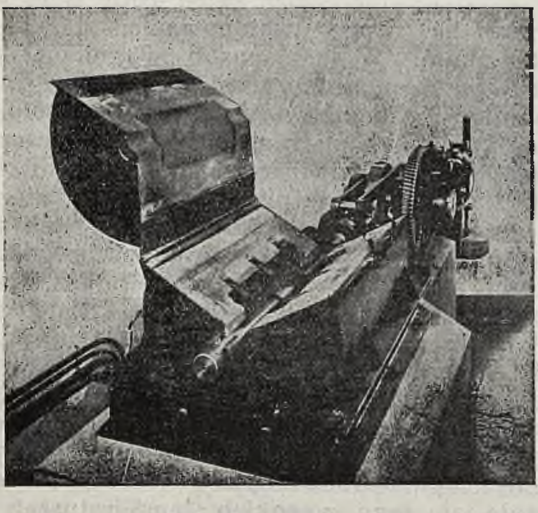
wodowane budową substancji międzykryształowej. Poszczególne składniki stopowe zachowują się w spoinach zupełnie odmiennie.

Mianowicie nikiel, chrom itp. wchodzą jako składniki kryształów żelaza, podczas gdy molibden pod postacią karbidu wchodzi nie zachodzi przez substancję międzykryształową (krystality), zaś przy wysokiej temperaturze i długim okresie rozrywania rozerwanie zachodzi według granicy kryształów i krystalitów, czyli wyrażając się obrazowo kryształy wychodzą ze spoiwa. Na tym zja-



Rys. 5. Maszyna do badania zmęczenia materjałów na gorąco. (Określenie wytrzymałości stałej przy próbie długotrwałej)
Maszyna ta służyła do wyznaczenia krzywych oznaczonych literą B na rys. 2, 3 i 4

w skład bezpostaciowej substancji międzykrystalicznej. Przy normalnej temperaturze we wszystkich wypadkach i przy wyższej temperaturze podczas krótkotrwałej próby tj., podczas szybkiej zmiany struktury, rozerwa-

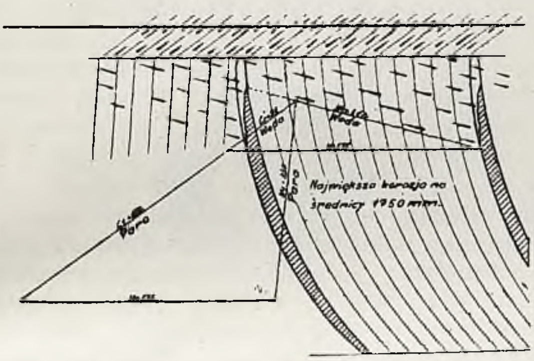


Rys. 6. Maszyna do badania zmęczenia materjałów przy wysokich temperaturach

wisku jest oparty fakt osiągania w normalnym wypadku dodatnich wyników przez dodawanie niklu i chromu, tymczasem dla ciągłej wytrzymałości przy wysokich temperaturach powyższe stopy, w składzie, jaki się zwykle stosuje, są całkowicie bez znaczenia, natomiast niewielkie polepszenie spoiwa międzykryształowego powoduje znaczną poprawę wytrzymałości przy wysokich temperaturach. Oczywiście, że te nowe dane zostały otrzymane w ciągu dość długiego czasu, a ponieważ niektóre z wyników i wyjaśnień były ze sobą sprzeczne, przeto firma Brown Boveri zbudowała maszynę dociągłej próby wytrzymałościowej Deuerzerreissmaschine), aby, w porozumieniu z dostawcami stali, ustalić wartości ciągłej wytrzymałości, które zostały podane na rysunkach 2—4.

Na rys. 5 — 6 widzimy wspomnianą maszynę, umożliwiającą z jednej strony utrzymanie stałej temperatury badanej próbki, z drugiej zaś strony dzięki zastosowaniu elektrycznego napędu stałe (ciągłe) obciążenie powyższej próbki, pomimo jej wydłużania.

Trudności opanowania temperatur polegają ponadto na znacznem przesunięciu linji rozprężenia w wykresie entropowym. Na rys. 7 widzimy trzy linje rozprężenia, wskazujące nam zmianę poszczególnych ustosunkowań. Dla stanu pary świeżej o ciśnieniu 16 *ata* i temperaturze 350°*C*, odpowiadającemu jeszcze do niedawna budowanym instalacjom, przy rozprężeniu do 96% próżni, więcej niż połowa linji ekspanzji znajduje się w obszarze przegrzania i zawartość wody w parze odlotowej wynosi tylko 11%. Gdy podwyższymy ciśnienie do 100 *ata* i temperaturę do 450°*C*, wówczas przebieg linji ekspanzji w obszarze przegrzania jest znacznie mniejszy, wzrasta zaś zawartość wody w parze odlotowej do 17,5%.



Rys. 8. Powstanie korozyj na łopatkach wirnikowych pod wpływem wilgotnej pary

Jeszcze mniej korzystne jest ustosunkowanie dla 200 *ata* i obecnie największej dopuszczalnej temperatury 470°*C*, ponieważ zaledwie $^1/_4$ część ekspanzji przebiega przez obszar przegrzania, zaś większa jej część znajduje się w obszarze pary nasyconej i w końcowym punkcie mamy aż 25% wody.

Z punktu widzenia czystej termodynamiki taki przebieg linji rozprężania jest bardzo pożądany, ponieważ zmniejszamy cieplik pary odlotowej i wówczas maleją straty w skraplaczu, a zatem wzrasta sprawność obiegu.

Niestety zawartość wody w parze jest w wysokim stopniu szkodliwa dla łopatek, ponieważ wydzielające się krople wody niszczą łopatki wirnikowe, tak że musimy zaniechać rozprężania pary o dużej wilgotności.

Przyczyny korozji łopatek w obszarze pary mokrej uwidacznia nam rysunek 8. Wykres szybkości dla pary wykazuje korzystny kąt wlotu szybkości względnej W_1. Wydzielające się krople wody, posiadając znacznie mniejszą bezwzględną szybkość C_1^1 mają również inną szybkość względną W_1^1 nietylko co do wielkości, lecz i kierunku i z tego powodu krople wody uderzają prostopadle o ścianki łopatki.

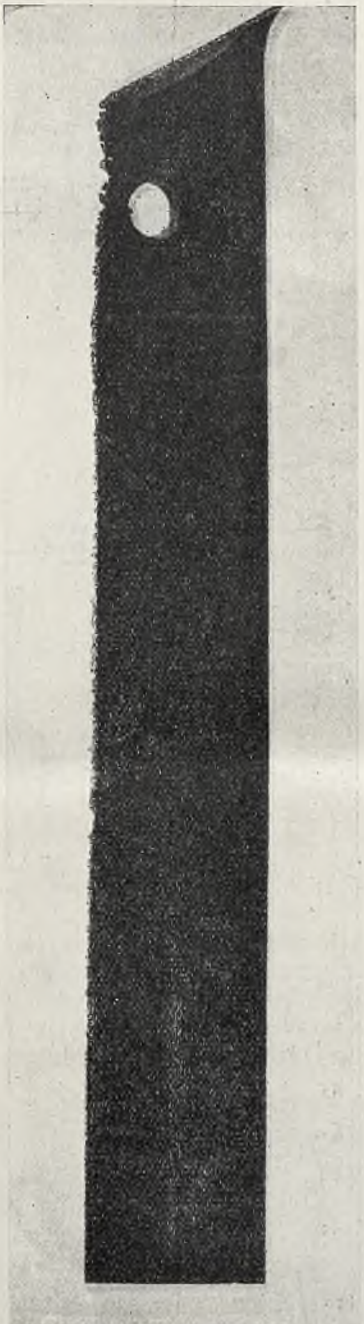
Rysunki 9 i 10 wskazują nam niszczące działanie wody. Jest to nader charakterystyczne, że woda stara się lokalnie przedziurawić ściankę łopatki, tak, że pod światło



Rys. 9. Łopatka ze śladami wyżarć spowodowanych działaniem wody

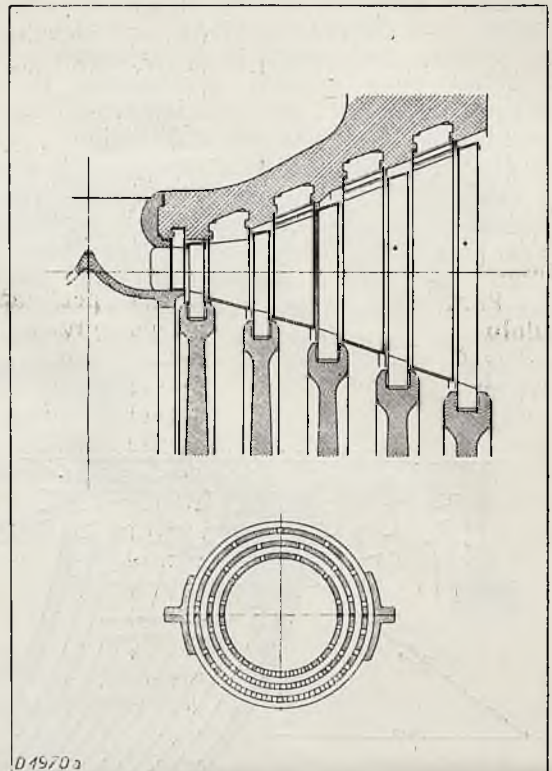
widać niewielkie otworki. Niemiłe doświadczenia z korozją ostatnich rzędów znane są stosunkowo niedawno i spowodowane są dwiema zasadniczemi przyczynami. Nie jest bynajmniej rzeczą przypadku fakt wyżarcia zewnętrznej części łopatki, ponieważ wilgotność pary z powodu działania siły odśrodkowej wzrasta ku obwodowi. Z tego też powodu

turbiny o dużej liczbie obrotów mają przy tej samej szybkości obwodowej znacznie większe zdzieranie łopatek. Powyższe trudności wystąpiły w całej pełni wówczas, gdy podniesiono moc turbin o szybkości 3000

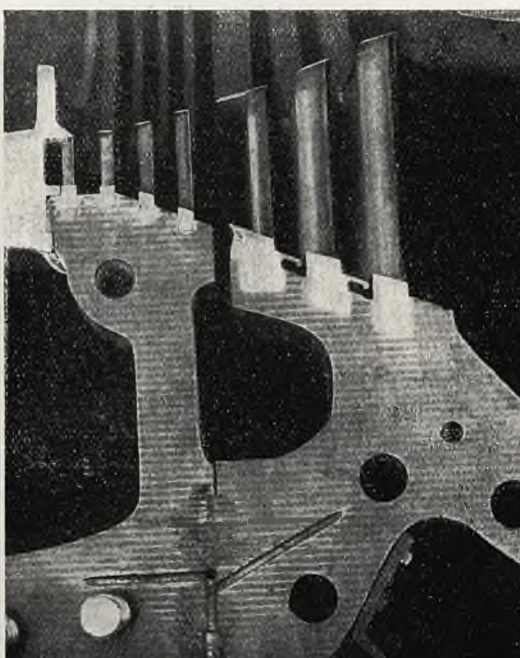


Rys. 10. Łopatka ze śladami wyżarć spowodowanych działaniem wody

obr./min. Oprócz tego zwiększono sprawność nowoczesnych turbin i przebieg linji ekspanzji mniej odbiega, niż dawniej od adjabaty, czyli, że dla tego samego ciśnienia w kondensatorze wzrasta jednocześnie ze wzrostem sprawności i zawartość wody w parze, a zatem musi też wzrosnąć zdzieranie łopatek, im większa jest sprawność odnośnej turbiny. Jest zrozumiałe, że starano się znaleść drogi do usunięcia zdzierania łopatek; najprędzej



Rys. 11. Odwodnienie cylindra niskoprężnego



Rys. 12. Odwodnienie cylindra niskoprężnego

prowadzącą do celu jest wykonanie łopatek z bardziej odpornego materjału. Jest to jedynie półśrodek, bez żadnego znaczenia, gdyż wcale nie przeciwdziała zniszczeniu łopatek.

Pozostaje zatem jedynie staranne chwytanie wydzielającej się pod postacią kropel wody i odprowadzanie na zewnątrz łopatek. Stworzono cały szereg urządzeń odwadniających, lecz nie usunięto mimo to całkowicie korozji. Pozostaje tu zatem otwarte pole do działania dla konstruktorów. Ciekawe są rozwiązania konstrukcyjne odwodnień przedstawione na rysunkach 11 i 12. Konstrukcja według rysunku 11 umożliwia odprowadzenie wody odrzuconej siłą odśrodkową przez łopatki poprzez kanały wyfrezowane w dokładkach kierownic.

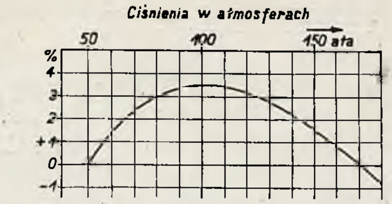
Ponieważ woda zbiera się przeważnie u dołu osłony, tam przeto wykonywa się większość kanałów. Rysunek 12 pokazuje nam inne rozwiązanie, mianowicie, odwirowana woda wpada do specjalnych pierścieniowych kanałów i zostaje doprowadzona do najniższego punktu cylindra. Oprócz tego ukształtowanie krawędzi kanału odprowadzającego parę do podgrzewania wody umożliwia również stałe odprowadzanie kropel wodnych.

Wspomniane powyżej czynniki wywierają bardzo duży wpływ na całkowity spółczynnik wydajności instalacji, niezależnie od tego, że przy dużych ciśnieniach pogarsza się znacznie sprawność łopatek, zwłaszcza dla małych ilości pary z powodu zbyt małych objętości. Dla wysokich ciśnień maleje ciepło właściwe pary, co pociąga za sobą spadek cieplika całkowitego wraz ze wzrostem ciśnienia przy stałej temperaturze; wskutek tego zwiększanie się spadku adjabatycznego będzie coraz to mniejsze i osiągnąwszy maximum, stanie się ujemne. Na wykresie entropowym rys. 7 widać wyraźnie, że proste równoległe do linji oznaczających próżnię w kondensatorze, są styczne do linji temperatury 450°*C* dla ciśnienia około 100 *ata*. Na rys. 13 jest podany wzrost spadku adjabatycznego, zaczynając od 50 *ata* i posuwając się w kierunku wzrastających ciśnień dla 450°*C* i 96% próżni.

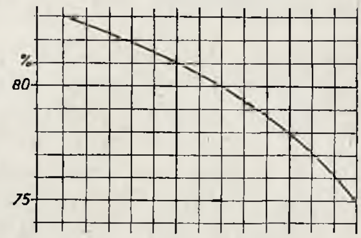
Wykreślona krzywa osiąga maximum o wartości 3,5% dla 100 *ata* i przecina linję zerową dla 170 *ata*.

Innemi słowami nadmierny wzrost ciśnienia nietylko, że nie daje nam żadnych korzyści, lecz jest zupełnie zbędny; jeśli oprócz tego uwzględnimy jeszcze pogorszenie się sprawności na sprzęgle stosownie do rys. 14, to widzimy, że stosowanie zbyt wysokich ciśnień jest nawet szkodliwe dla wydajności instalacji. Rys. 15 podaje nam zużycie pary odniesione do mocy na sprzęgle dla turbin z kondensacją i dla wspomnianych wyżej warunków. Najmniejsze zużycie pary mamy dla 80 *ata*, które zwiększa się ze wzrostem ciśnienia z powodów już poprzednio wymienionych.

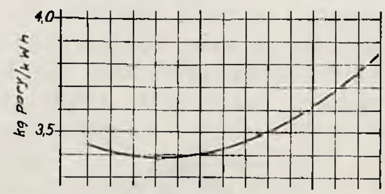
Rys. 13



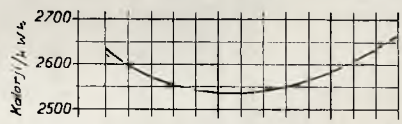
Rys. 14



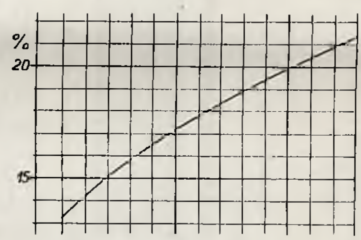
Rys. 15



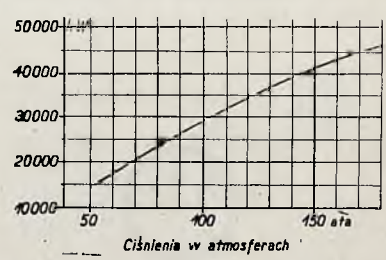
Rys. 16



Rys. 17



Rys. 18



Rys. 13. Procentowy wzrost adjabatycznego spadku cieplika dla próżni 96%

Rys. 14. Sprawność na sprzęgle

Rys. 15. Zużycie pary w stosunku do mocy na sprzęgle w kg na kWh

Rys. 16. Ilość kaloryj odpowiadająca kWh na sprzęgle

Rys. 17. Procentowa zawartość wody w parze odlotowej

Rys. 18. Moc osiągalna na sprzęgle przy założeniu, że ilość pary świeżej w tn/h równa się ciśnieniu w at.

(D. c. n).

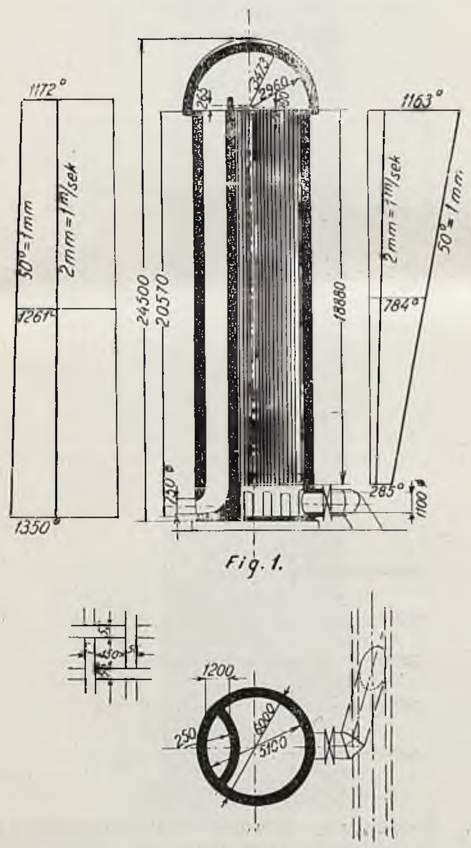
BR. CHUDZYŃSKI, inż. Sosnowiec.

APARAT COWPER'A, JAKO NAGRZEWNICA DMUCHU WIELKOPIECOWEGO

Obliczenie cieplne. Analiza zjawisk termicznych i fizycznych, zachodzących wewnątrz nagrzewnicy.

Modernizacja hut żelaznych ma na celu, między innemi, możliwie daleko posunięte wyzyskanie ciepła zawartego w gazach hutniczych, w pierwszej linji w Zakładach, posiadających koksiarnie oraz wielkie piece, gdzie dążeniem powinno być zużywanie węgla jedynie w koksiarni, przy oparciu gospodarki energetycznej wyłącznie na gazach.

Powyższe całkiem słuszne i zrozumiałe dążenie pociąga za sobą konieczność doskonalenia sposobów wyzyskiwania ciepła, zawartego w gazach hutniczych, czyli stosowania



Rys. 1

spółczesnych metod czyszczenia gazów wielkopiecowych, udoskonalonych palników gazowych, wreszcie odzyskania ciepła, oraz w ostatnich czasach—podgrzewaczy powietrza do palenisk kotłowych. Dziedziną stosunkowo zaniedbaną są nagrzewnice Cowper'a.

Aparaty te służą do nagrzewania wtłaczanego do wielkiego pieca „dmuchu zimnego" do temperatury, która się waha, zależnie od biegu pieca i materjałów używanych, od 650° — 800° C. Nagrzewnica Cowper'a jest to ujęta w pancerz żelazny kolumna, zakończona od góry kopułą (patrz rys. 1), wyłożona grubą warstwą cegły szamotowej i wyposażona wewnątrz w szyb szamotowy, o przekroju okrągłym, lub kształtu soczewki, wznoszącym się od dołu aż do wyjścia pod kopułę, w którym odbywa się spalanie mięszanki gazu wielkopiecowego z powietrzem.

Spaliny wznoszą się pod wpływem ciągu kominowego, przechodzą pod kopułą, oddając po drodze część ciepła i przechodzą do tak zwanej kraty, zrobionej z cegły szamotowej, a składającej się z pionowych kanalików (oczek), biegnących od kopuły aż do dolnej części nagrzewnicy. Kanaliki te zajmują całą pozostałą, po za szybem, wolną płaszczyznę przekroju aparatu, tworząc właściwy zasobnik ciepła nagrzewnicy, gdzie spaliny oddają ponad połowę zawartości cieplika. Po przejściu przez kratę, z góry na dół, spaliny uchodzą do krócca kominowego, stamtąd do wspólnego dla całej grupy aparatów czopucha, stamtąd zaś do komina.

W dolnej części szybu, z boku mieści się otwór, do którego przystawiony jest palnik gazowy, w którym gaz miesza się z powietrzem, by zapalić się w dolnej części szybu. Palnik może być „atmosferyczny", lub z wdmuchem powietrza od wentylatora, albo od wiatrowej maszyny wielkiego pieca. Wdmuch zastosowali pierwsi inżynierowie Pfoser, Stumm i Strack, celem przyśpieszenia nagrzewania aparatu, a tem samem celem obchodzenia się dwoma tylko nagrzewnicami, zamiast poprzednio stosowanych trzech, lub czterech, co redukuje straty od promieniowania. Gdy po blisko 2 lub 3-godzinnem nagrzewaniu, aparat już przestaje wchłaniać ciepło, odstawiają dopływ gazu do palnika.

Otwór palnikowy szczelnie zamykają odpowiednią pokrywą. Zamykają również odpływ spalin do krócca kominowego, przyczem otwór do tego krócca także szczelnie odcinają. Otwierają natomiast znajdującą się u dołu aparatu, obok krócca kominowego, zasuwę „zimnego dmuchu", od przewodu do maszyny — dmuchawy, oraz zasuwę „dmuchu gorącego", znajdującą się na króccu, nad otworem palnikowym, również u dołu nagrzewnicy.

Zimny dmuch, tłoczony przez dmuchawę, przechodzi przez nagrzewnicę w odwrotnym do spalin kierunku, z dołu do góry po przez kratę, pod kopułę i następnie do szybu, z góry na dół, aż do krócca „dmuchu gorącego",

a dalej po przez wspólny rurociąg „dmuchu gorącego” do wielkiego pieca.

Dawniej jak wyżej wspomniano, odbywało się przekładanie nagrzewnicy na powietrze, po 2 lub 3-godzinnem nagrzewaniu gazem, na przeciąg 1 godziny mniej więcej, przyczem do każdego wielkiego pieca używano grupę z 3 lub 4 nagrzewnic Cowper'a.

Rozchód gazu na nagrzewnice Cowper'a wynosił wtedy ok. 35% og. ilości gazu z wielkiego pieca.

W wielu hutach Polskich dałyby się zaprowadzić oszczędności w zużyciu gazu w nagrzewnicach Cowper'a, a to przez zastosowanie, tak zwanego „dwuaparatowego“ systemu, polegającego na tem, że w czasokresie, w którym jedna nagrzewnica oddaje ciepło dmuchowi, druga otrzymuje ciepło ze spalania gazu; zaoszczędza się przytem straty od promieniowania 1 lub 2 aparatów i straty w palnikach; następnie do oszczędności prowadzi korzystanie z udoskonalonych palników gazowych oraz z nowoczesnego czyszczenia gazów wielkopiecowych.

Przeszkodą do przejścia na system pracy tylko dwiema nagrzewnicami okazuje się zazwyczaj mała powierzchnia ogrzewana, przyczem przekracza się granicę chłonności ciepła przez wyprawę i kratę nagrzewnicy, którą niektórzy oceniają na 2000 j. c.[1]) z 1 m^2 powierzchni ogrzewanej w godzinę, podając dla niej, przy zachowaniu odpowiedniej temperatury spalin, — 1000 j. c. z 1 m^2 w godzinę.

Zwiększenie powierzchni ogrzewanej nagrzewnicy prowadzi do jej nadbudowy, co pociąga za sobą znaczne koszty inwestycyjne, jest jednak racjonalnem załatwieniem sprawy, przyczem koszty okupują się potem przez oszczędności, jakie można stąd osiągnąć na ilości spalanego gazu i na biegu wielkiego pieca. Tańszem wyjściem jest sprzęgnięcie w szereg dwuch nagrzewnic, zapomocą odpowiedniej przebudowy rurociągów i powiększenia w ten sposób wdwójnasób powierzchni grupy, składającej się z 2 nagrzewnic, przy pracy systemem „dwuaparatowym“, lub,w danym wypadku ściślej „dwugrupowym“. Badania, przeprowadzone nad takim systemem w Differdange, dały w pracy oszczędności nieco ponad 10% w zużyciu gazu, czyli tę ilość ciepła, jaką się traci w jednym palniku.[2]) System wspomniany jest więc mniej ekonomiczny, niż praca z nadbudowanemi 2 nagrzewnicami, albowiem powierzchnia promieniowania grupy jest znacznie większa od powierzchni jednej nadbudowanej nagrzewnicy; opór jest również znacznie większy, wobec czego potrzebny jest dosyć silny wentylator, wdmuchujący powietrze do palnika.

[1]) Patrz: „Anhaltszahlen für den Energieverbrauch in Eisenhüttenwerken“, wydane przez „Wärmestelle“ w Düsseldorfie, rok 1925; str. 112.

[2]) Comptes Rendus du 2e Congrès du Chauffage Industriel. „Chaleur et Industrie“ № 102; Octobre 1928; page 390.

Praca niniejsza ma za zadanie podać obliczenie cieplne z dziedziny gospodarki gazowej na hucie, wskazać na dzielność cieplną nagrzewnic Cowper'a, oraz drogą analizy zjawisk, wewnątrz nagrzewnic zachodzących, wykazać braki ich obecnego ustroju, wreszcie wykazać, że nie potrzeba sztucznego wdmuchu powietrza do palnika, owszem wystarczy wyzyskanie i ulepszenie istniejących urządzeń ciągu naturalnego, aby przyjść do pracy systemem P.S.S.[1]) („dwuaparatowym“), przy założeniu, że nagrzewnice mają dostatecznie wielką powierzchnię ogrzewalną, że gaz oczyszczony jest zapomocą nowoczesnych urządzeń i że palnik pozwala na dobre mieszanie gazu z powietrzem, przyczem jego wymiary i przekroje są ustalone prawidłowo.

Obliczenia wstępne.

Nagrzewnica, której obliczenie poniżej przytaczam, była nadbudowana prawidłowo. Nagrzewa powietrze dla wielkiego pieca produkcji ok. 110 — 115 *tn* surówki martinowskiej na dobę. Przy systemie P.S.S. potrzeba w ciągu godziny nagrzać w tym aparacie:

$Q_p = 350\ m^3 \times 60$ powietrza wessanego przez dmuchawę do temperatury:

$t_p'' = 800^0\ C.$

$t_p = 15^0\ C$ jest średnią temperaturą powietrza.

$t_p' = 40^0\ C$ „ „ „ za dmuchawą.

$c_p = 0{,}2474$ j. c./1 kg. $1^0\ C$ jest cieplikiem właściwym powietrza, średnim dla temperatur między $40^0\ C$ i 800^0 C.

Niezbędny do nagrzania powyższej ilości powietrza cieplik w. j. c. na 1 sek. wynosi:

$$Q_{j.\ c.} = Q_p\ \gamma_p \frac{273}{3600.(273 + t_p)}\ c_p\ (t_p'' - t_p') =$$

$$= \frac{350 . 60 . 1{,}29 . 273 . 0{,}2474\ (800 - 40)}{3600\ (273 + 15)}$$

$$Q_{j.\ c.} = 1340\ \frac{j.\ c.}{sek.}$$

$\gamma_p = 1{,}29\ ^{kg}/_{m^3}$ jest to waga właściwa powietrza przy 0^0.

Sprawność cieplną nagrzewnicy Cowper'a przyjęto na $\eta = 0{,}7$, temperaturę oczyszczonego gazu przy wejściu do palnika — na $t_g = 50^0\ C$

Współczynnik nadmiaru powietrza — na $\mu = 1{,}3$.

[1]) System P.S.S. — Pfoser, Stumm, Strack, od nazwy jego twórców.

Gaz wielkopiecowy zawiera średnio przy $0^0 C$ (w $^0/_0$ objęt.):

$CO = 28{,}3$
$H_2 = 2{,}8$
$CO_2 = 12{,}5$
$N_2 = 54{,}4$
$H_2O = 2$
100

Teoretyczna ilość powietrza, niezbędna do spalenia gazu wynosi:

$$q = \frac{\overline{CO}}{100} \cdot 2{,}39 + \frac{\overline{H_2}}{100} \cdot 2{,}38 = 0{,}283 \cdot 2{,}39 + 0{,}028 \cdot$$

$$\cdot 2{,}38 = 0{,}7427 \frac{m^3 \; pow.}{1 \, m^3 \; gazu}$$ przy $0^0 C$ gazu i powietrza.

$$q = 0{,}7427 \frac{273}{273 + 50} = 0{,}628 \frac{m^3 \; pow.}{1 \, m^3 \; gazu}$$ przy $50^0 C$ gazu i 0^0 powietrza.

Wartość opałowa gazu przy temperat. $t_g = 50^0 C$ i teperat. powietrza $t_p = 15^0 C$:

$$Q''_{j.\,c.} \, Q'_{j.\,c.} + t_g \, c_g + \mu \, q \, c_p \, \gamma_p \, t_p \frac{273}{273 + t_p},$$ gdzie:

$$Q'_{j.\,c.} = (3055 \cdot \frac{\overline{CO}}{100} + 3041 \frac{\overline{H_2}}{100}) \frac{273}{273 + i_g} =$$

$$= (3055 \cdot 0{,}283 + 3041 \cdot 0{,}028) \frac{273}{273 + 50} =$$

$$= 803 \frac{j. \; c.}{m^3}$$ przy $50^0 C$ gazu.

$$Q''_{j.\,c.} = 803 + 50 \cdot 0{,}39 + 1{,}3 \cdot 0{,}628 \cdot 0{,}241 \cdot 1{,}223 \cdot$$

$$\cdot 15 = 826{,}12 \frac{j. \; c.}{1 \, m^3}$$ gazu przy $50^0 C$ gazu i $15^0 C$ powietrza.

Cieplik właściwy powietrza

$$c_p = 0{,}241 \frac{j. \; c.}{1 \, kg \, 1^0 C}$$ przy temperaturze $15^0 C$

Cieplik właściwy gazu: $c_g = (0{,}283 + 0{,}544) \, 0{,}313 + 0{,}028 \cdot 0{,}308 + 0{,}125 \cdot 0{,}4035 +$

$$+ 0{,}02 \cdot 0{,}2725 = 0{,}39263 \frac{j. \; c.}{1 \, m^3 \; 1^0 C}$$

Ciężar właściwy gazu przy $0^0 C$ — γ_g:

Waga $CO = 1{,}251 \cdot 0{,}283 = 0{,}3545$
„ $H_2 = 0{,}089 \cdot 0{,}028 = 0{,}00249$
„ $CO_2 = 1{,}966 \cdot 0{,}125 = 0{,}2445$
„ $N_2 = 1{,}251 \cdot 0{,}544 = 0{,}68$
„ $H_2O = 0{,}00488 \cdot 0{,}02 = 0{,}0000976$
$\gamma_g = 1{,}2826876 \; kg/m^3$

przy $0^0 C$, albo:

$$\gamma_g \frac{273}{273 + t_g} = 1{,}2825876 \frac{273}{323} = 1{,}085 \; kg/m^3$$

przy $50^0 C$.

Palnik powinien spalić więc gazu na 1 sekundę przy temperaturze gazu

$$t_g = 50^0 C: \; Q_g = \frac{Q_{j,\,c.}}{\eta \cdot Q''_{j,\,c.}} = \frac{1340}{0{,}7 \cdot 826{,}12} \sim = 2{,}33 \, m^3/sek$$

wagi: $G_g = 1{,}085 \cdot 2{,}33 = 2{,}53 \; kg/sek$

Powietrza do spalenia powyższej ilości gazu potrzeba, przy temperat. powietrza

$$t_p = 15^0 c: \; Q_p = Q_g \cdot q \cdot \mu \frac{273 + t_p}{273} =$$

$$= 2{,}33 \cdot 0{,}628 \cdot 1{,}3 \frac{273 + 15}{273} = 2{,}01 \; m^3/sek$$ wagi:

$G_p = 2{,}01 \cdot 1{,}223 = 2{,}46 \; kg/sek$

Spaliny więc ważą na 1 *sek.*:

$G_{sp} = G_g + G_p = 2{,}53 + 2{,}46 = 4{,}99 \; kg/sek.$

Objętość spalin na 1 m^3 gazu:

Od spalenia $0{,}283 \, m^3$ CO otrzymuje się $0{,}283 \; m^3 \; CO_2$

$0{,}544 \, m^3$ azotu N_2 w spalinach pozostaje . . . . $0{,}544 \; m^3 \; N_2$

Namiar powietrza w spal. $0{,}628 . 03$ pozostaje . . $0{,}1885 \, m^3$ powietrza

Para wodna H_2O w spalinach pozostaje . . . . $0{,}02 \; m^3 \; HO_2$

Kwas węglowy CO_2 w spalinach pozostaje . . . $0{,}125 \; m^3 \; C_2O$

Azot z powietrza N_2 w spalinach $0{,}628 . 0{,}79$ pozostaje $0{,}496 \; m^3 \; N_2$

Ogółem na 1 m^3 gazu spalin przy $O^0 C$ . . . — $1{,}6565 \; m^3$

Przyjęto à prori temperaturę spalania gazu

$$t_{sp} = 1350^0 C$$

Przy tej temperaturze na m^3 gazu przypada spalin

$$1{,}6565 \cdot \frac{1623}{273} = 9{,}85 \; m^2/m^3 \; \text{gazu}$$

Do tej ilości dochodzi para wodna od spalenia wodoru:

$$9 \, H_2 \, \gamma_w \, v_{100} \cdot \frac{t_{sp} + 273}{100 + 273} =$$

$$= 9 \cdot 0{,}028 \cdot 0{,}089 \cdot 1{,}67 \cdot \frac{1623}{373} = 0{,}163 \; m^2/m^3 \; \text{gazu}$$

Gdzie waga właściwa wodoru

$$\gamma_w = 0{,}089 \; kg/m^3 \; \text{przy} \; 0^0 C$$

Objętość właściwa pary wodnej przy

$$100^0 C - v_{100^0} = 1{,}67 \frac{m^3}{kg.}$$

Razem więc objętość spalin na m^3 gazu przy 1350°C wynosi:

$$Q'_{sp} = 9{,}85 + 0{,}163 = 10{,}013\ m^3$$

Całkowita ilość spalin na 1 sek.

$$Q_{sp} = Q'_{sp} \times Q_g \frac{273}{t_g + 273} =$$

$$= 10{,}013 . 2{,}33 \frac{273}{50+273} = 19{,}75\ {}^{m^3}/_{sec.}\ \text{przy}\ 1350^0C$$

Ciężar właściwy spalin:

$$\gamma_{sp} = \frac{G_{sp}}{Q_{sp}} = \frac{4{,}99}{19{,}75} \simeq 0{,}253\ kg/m^3\ \text{przy}\ 1350^0C$$

Albo

$$\gamma_{sp_0} = 0{,}253 \frac{1623}{273} \simeq 1{,}5\ kg/m^3\ \text{przy}\ 0^0C$$

Analiza spalin przy 0°C:

$$CO_2 - \frac{0{,}283 + 0{,}125}{Q'_{sp} \dfrac{273}{t_{sp} + 273}} =$$

$$= \frac{0{,}408}{10{,}013 \dfrac{273}{1623}} = = 0{,}243 \text{ czyli } 24{,}3\%$$

$$N_2 - \frac{1{,}04 + 0{,}79 . 0{,}1885}{1{,}685} = 0{,}705 \quad \text{czyli } 70{,}5\%$$

$$H_2O - \frac{0{,}02 . 1623}{273} + 0{,}163 = 0{,}2818;$$

$$\frac{0{,}2818 . 273}{1623} = 0{,}0474; \frac{0{,}0474}{1{,}685} = 0{,}0282 \text{ czyli } 2{,}82\%$$

$$O_2 - \frac{0{,}1885 . 0{,}21}{1{,}685} = 0{,}02345 \text{ czyli } 2{,}345\%$$

Cieplik właściwy spalin przy 1350°C:

$$CO_2 - 0{,}243 . 0{,}528 = 0{,}1283$$

$$N_2 - 0{,}705$$

$$O_2 - \frac{0{,}02345}{0{,}72845 . 0{,}339} = 0{,}2465$$

$$H_2O - 0{,}0282 . 0{,}4155 = 0{,}0117$$

$$c_{sp} = 0{,}3865\ j.c./1m^3\ \text{przy}\ 1350^0C$$

albo

$$c_{sp} = \frac{0{,}3865}{0{,}253 \dfrac{1623}{273}} = 0{,}257\ j.\ c./kg.\ \text{przy}\ 1350^0C$$

Cieplik właściwy spalin przy 0°C:

$$CO_2 - 0{,}243 . 0{,}397 = 0{,}0964$$

$$N_2 - 0{,}705$$

$$O_2 - 0{,}02345$$

$$0{,}72845 . 0312 = 0{,}2265$$

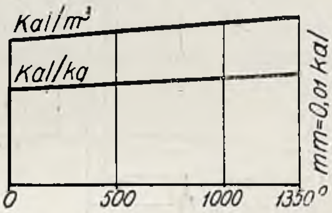
$$H_2O - 0{,}0282 . 0{,}372 = 0{,}0105$$

$$C_{sp} = 0{,}3334\ j.\ c./m^3\ \text{przy}\ 0_0$$

albo:

$$C_{sp} = \frac{0{,}3334}{0{,}253 \dfrac{1623}{273}} = 0{,}222\ j.\ c./1\ kg\ \text{przy}\ 0^0C$$

Wykreślony w postaci prostych wykres cieplików właściwych spalin dla m^3 spalin i dla 1 kg spalin (rys. 2), między temperaturami 0°C i 1350°C daje możność określenia cieplików właściwych spalin graficznie dla temperatur pośrednich.



Rys. 2

Obliczenie cieplne nagrzewnicy Cowper'a.

Temperatura spalania gazu:

$$t_{sp} = \frac{Q''_{j.c.}\ Q_g\ \eta'}{G_{sp}\ c_{sp}} = \frac{826{,}12 . 2{,}33 . 0895}{4{,}99 . 0{,}257} \simeq 1350^0C$$

$\eta' = 0{,}895$ jest spółczynnikiem, określającym straty w samym palniku. Spółczynnik ten przyjęto dosyć ostrożnie, wobec stosowanych dzisiaj nie wszędzie jeszcze udoskonalonych palników, nie zawsze gwarantujących zupełne spalanie, pozatem powodujących straty ciepła przez promieniowanie i zasysanie powietrza przez nieszczelności:

Ciepło zatem otrzymane od spalania ilości $Q_g = 2{,}33\ m^3/sek.$ gazu wielkopiecowego, o temperaturze $t_g = 50^0C$, z powietrzem o temperaturze $t_p = 15^0C$ wynosi:

$$Q_1 = Q''_{j.\ c.} Q_g = 826{,}12 . 2{,}33 = 1925\ j.\ c./sek.$$

Z tej ilości zginęło w palniku:

$$Q_1\ (1 - \eta') = 1925\ (1 - 0{,}895) = 205\ j.\ c./sek.$$

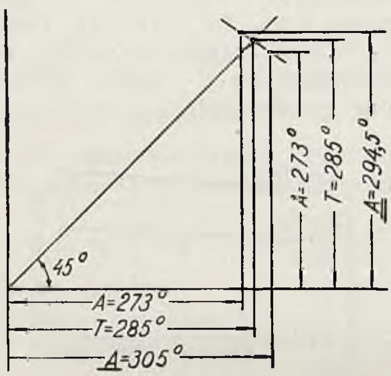
Reszta ciepła wraz ze spalinami przeszła do dalszych części powierzchni ogrzanej nagrzewnicy:

$$\eta' Q_1 = 1925 . 0{,}895 = 1720\ j.\ c./sek.$$

Określenie temperatur w szybie nagrzewnicy.

Przy obliczaniu dalszych temperatur wewnątrz nagrzewnicy stosowaną jest metoda rachunku kołowego, który polega na tem, że poszukiwana końcowa temperatura pewnej sekcji powierzchni ogrzanej przyjmuje się à priori; na zasadzie tej przyjętej temperatury przeprowadza się dalszy rachunek celem właśnie jej obliczenia, poczem jako ostateczny wynik otrzymuje się poszukiwana temperatura, która była uprzednio przyjęta, przyczem obliczowana temperatura i przyjęta powinny być identyczne.

Rachunek podobny przeprowadza się najlepiej wykreślnie, jak następuje (patrz rys. 3): przyjmuje się temperaturę $\underline{A}$ i według niej znajduje się temperaturę A. Temperaturę $\underline{A}$ odkłada się w skali na linji odciętych, zaś temperaturę A, jako jej rzędną. Następnie znalezioną temperaturę A zakłada się, a oblicza się nową temperaturę $\underline{\underline{A}}$. Temperaturę A odkłada się na linji odciętych, jako jej zaś rzędną temperaturę $\underline{\underline{A}}$. Obie rzędne łączy się prostą i na przecięciu tej prostej z prostą przeprowadzoną pod kątem 45° przez punkt przecięcia osi współrzędnych otrzymuje się punkt, którego współrzędne są między sobą równe i stanowią wielkość poszukiwanej temperatury w końcu sekcji.

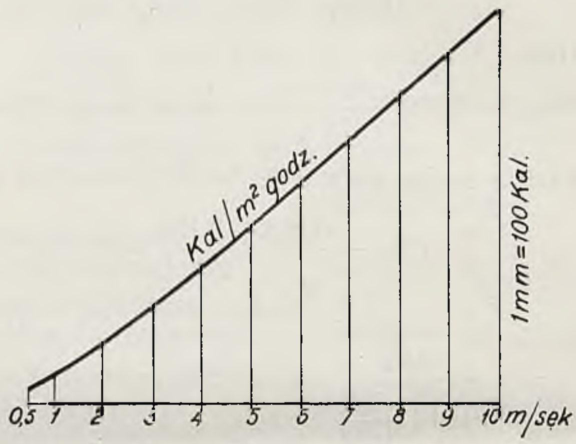


Rys. 3

Podstawą rachunku temperatur spalin, oraz ciepła, oddanego przez spaliny zaprawie aparatu, jest spółczynnik konwekcji K, mierzony w kalorjach na 1 godzinę, na 1 metr kwadratowy powierzchni ogrzanej i na 1°C różnicy temperatur: spalin, lub ewentualnie powietrza i powierzchni wyprawy. Brakuje dokładnych danych dla spółczynnika K dla wysokich temperatur, trudne są bowiem do określenia temperatury powierzchni wyprawy, a zatem i różnica temperatur spalin, ew. powietrza, i powierzchni ogrzanej. Ponieważ jednak K jest funkcją szybkości przepływu spalin, lub ew. powietrza w kanałach wzdłuż powierzchni ogrzanej, to na zasadzie pomiarów ilości spalin, ew. nagrzanego powietrza, pomiaru ich temperatur i obliczenia odnośnych szybkości, zestawiono tablicę poniższą utylizacji ciepła przez powierzchnię ogrzaną, przy wysokich temperaturach, w zależności od szybkości przypływu spalin, ew. powietrza[1]).

v m/sec.	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10,0	15
Przeszło ciepła w jedn. ciepln. na 1 m^2 godzinę	300	600	1200	2000	3600	8000	13000

Na zasadzie tablicy powyższej zbudowany jest załączony wykres (rys. 4), z którego w skali brane są ilości ciepła pośrednie, między cyframi tablicy.



Rys 4.

Przekrój (eliptyczny) szybu aparatu, o którym mowa (patrz. rys. I), wynosi: $F_{sz} = 2{,}584\ m^2$; obwód przekroju $S_{sz} = 7{,}04\ m$; wysokość szybu $H_{sz} = 20{,}97\ m$ (wraz z nadbudową).

Po dwuch przybliżonych obliczeniach, wykreślnie, sposobem wyżej podanym otrzymana została rzeczywista temperatura w końcu szybu u wyjścia do kopuły. Poczem z rzeczywistą temperaturą przeprowadzono poniższy rachunek repartycji ciepła w tej sekcji:

Rzeczywista temperatura w końcu szybu:

$$t''_{sz} = 1172^0\ C.$$

Średnia temperatura w szybie:

$$t_{sz} = \frac{1350 + 1172}{2} = 1261^0\ C.$$

Średnia szybkość spalin w szybie:

$$v_{sz} = \frac{Q_{sp}\ (273 + t_{sz})}{(273 + t_{sp})\ F_{sz}\ \mu}$$

$$v_{sz} = \frac{19{,}75\ (273 + 1261)}{(273 + 1350)\ 2{,}584 \cdot 0{,}96} \simeq 7{,}55\ m/sek.$$

[1]) Patrz: „Hütte, Taschenbuch für Eisenhüttenleute", wydanie drugie z 1922 r. str. 253.

Z wykresu dla $v = 7{,}55\ m/sek.$ wzięto ilość kaloryj, która na 1 godzinę i $1 m^2$ powierzchni ogrzanej przeszły ze spalin do zaprawy:

$$k_{sz} \cong 5800 \frac{j.\ c.}{godz./m^2}$$

Stąd całkowita ilość ciepła, oddanego zaprawie przez spaliny na 1 sek:

$$Q_{sz} = \frac{k_{sz} F}{3600} = \frac{5800\ .\ 7{,}04\ .\ 20{,}97}{3600} \cong 241 \frac{j.\ c.}{sek.}$$

Gdzie $F = 7{,}04\ .\ 20{,}97 = 148\ m^2$ jest powierzchnią ogrzaną szybu (wraz z nadbudową w kopule).

Strata ciepła przez promieniowanie zewnętrznej powierzchni nagrzewnicy na części, przylegającej do szybu, na 1 sek:

$$P' = F_{zewn.}\ p = 4{,}4 \times 20{,}77 \times \frac{700}{3600} = 17{,}75 \frac{j.\ c.}{sec.}$$

gdzie $p = 700 \frac{j.\ c.}{godz./m^2}$[1]) jest ciepłem oddanem nazewnątrz przez m^2 pow. zewn. nagrzewnicy na 1 godzinę—cyfra którą można przyjąć dla dobrze wyzyskanej powierzchni ogrzanej.

Ogółem ze spalin ubyło ciepło:

$$Q_{sz} = 241 + 17{,}75 = 258{,}75 \frac{j.\ c.}{sec.}$$

W spalinach pozostało ciepła:

$$\eta^1\ Q_1 - Q_{sz} = 1720 - 258{,}75 = 1461{,}25 \frac{j.\ c.}{sec.}$$

Temperatura spalin w końcu szybu:

$$t^1_{sz} = \frac{\eta^1\ Q_1 - Q_{sz}}{G_{sp}\ c_{sp}} = \frac{1461{,}25}{4{,}99\ .\ 0{,}25} \cong 1172^0\ C,$$

czyli to samo, co było założone wyżej.

$$c_{sp} = 0{,}25 \frac{j.\ c.}{kg}$$ jest cieplikiem właściwym spalin przy średniej temperaturze w szybie $t_{sz} = 1261^0\ C$, wziętym z wykresu.

W podobny sposób obliczono oddanie ciepła w dalszych sekcjach nagrzewnicy.

(D. c. n.).

1) Patrz: „Anhaltszahlen für den Energieverbrauch in Eisenhüttenwerken" wydane przez „Wärmestelle" Düsseldorf 1925 r., str. 12.

Prof. Cz. GRABOWSKI.

ZASADY HYDRAULICZNEJ TEORJI CIĄGU NATURALNEGO

(Por. *Technika Cieplna*, str. 147, 1930).

9. Prądy naturalne w suszarniach.

W piecach do wypalania cegły, o których mowa była w rozdziale 8[1]), ciepło gazów odlotowych staramy się wyzyskać w celu wysuszenia cegły, tj. w celu oddestylowania z niej wody w prądzie owych ostudzonych gazów spalinowych[2]). Jest to proces zupełnie analogiczny do procesu suszenia w prądzie gorącego powietrza owoców, warzyw lub preparatów chemicznych: polega on na stopniowem nasycaniu suszącego gazu (t.zw. gazu obojętnego) parą wodną, wydzielającą się ze suszonego materjału. Ponieważ H_2O posiada ciężar molowy 18, powietrze przeciętny ciężar molowy 29, a gazy spalinowe około 30, więc powstaje pytanie, czy rzeczywiście[1]) ciężar właściwy gazów w miarę przepływu przez suszarnię wzrasta, tj. czy wzrost tego ciężaru wskutek chłodzenia jest większy, niż spadek wskutek nasycania się parą wodną. Aby na pytanie to dać dokładną odpowiedź, podaję poniżej krótki zarys teorji suszarnictwa w oświetleniu graficznem[2]).

Prądy gazów przepływające przez suszarnie podlegają tym samym prawom ciągu, co i prądy gazów pod kotłami parowemi; absolutne ciśnienie tych gazów w miarę przepływu przez suszarnie zwykle spada nieznacznie, dla tego też mamy cały szereg racjonalnie skonstruowanych suszarni, które pracują przy pomocy ciągu naturalnego. Lecz suszarnia od kotła parowego różni się tem,

1) T.j. w piecach pierścieniowych typu Hoffmanna (rys. 24 i nast.); to samo stosuje się i do pieców t. zw. tunelowych, tj. z tunelem prostolinjowym.

2) Które z chemicznego punktu widzenia w danym wypadku będą dla wody gazami obojętnemi.

1) Jak to przyjmowaliśmy w rozdziale poprzednim, mówiąc o komorach pieców pierścieniowych naładowanych świeżą cegłą.

2) Wykładanej przezemnie w kursie maszynoznawstwa chemicznego na wydziale chemicznym politechniki warszawskiej.

że ilość gazów w miarę przepływu przez suszarnię wskutek nasycania się parą wodną wzrasta, a z tego powodu ciśnienie cząstkowe suszącego gazu obojętnego wyraźnie spada i spadek ten w znacznym stopniu wypełnia para wodna [1]) oddestylowana z ciała suszonego. Destylacja ta niekiedy wymaga głębszych rozkładów chemicznych ciał suszonych, najczęściej jednak sprowadza się do zwykłego parowania wody z roztworów, któremi wypełnione są pory lub (w produktach pochodzenia roślinnego) komórki ciał suszonych. Jeżeli mamy do czynienia z roztworem, to prężność pary nie odpowiada temperaturze roztworu, lecz jest niższa odpowiednio do stężenia tego roztworu [2]), a zatem jest to para przegrzana, ponieważ zaś roztwór musi posiadać temperaturę niższą od temperatury gazu suszącego [3]), więc pomiędzy gazem i parą wodną musi zachodzić dalsza wymiana ciepła, a więc otrzymamy dalsze przegrzanie pary. Tak więc w gazach suszących para wodna znajdować się musi w stanie przegrzanym [4]).

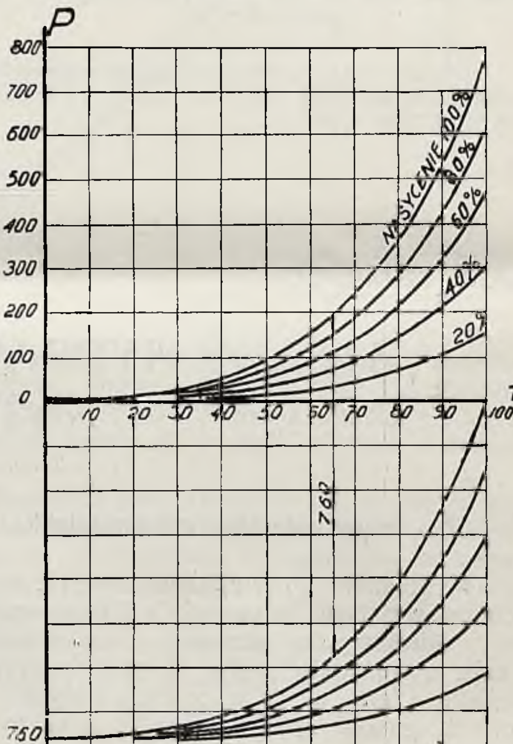
Parowanie wody, która wydziela się z suszonego materjału, i następne przegrzewanie otrzymanej pary, jak już mówiliśmy wyżej, odbywa się kosztem ciepła zawartego w gazie obojętnym, który zatem odpowiednią ilość tego ciepła zawierać w sobie powinien [5]). A zatem ze względu na sposób, w jaki ów gaz ciepło to otrzymuje, suszarnie podzielić możemy na dwa zasadnicze typy:

1) suszarnie, w których do komory suszącej gaz obojętny wchodzi z całą ilością ciepła, potrzebną do procesu suszenia [6]),

2) suszarnie, w których w samej komorze suszącej gaz (najczęściej powietrze) ogrzewa się stopniowo zapomocą specjalnych kaloryferów. W rozdziale niniejszym głównie suszarnie pierwszego typu mieć będę na myśli, gdyż w suszarniach takich (jak to zaznaczyłem na wstępie) w miarę przepływu gazu obojętnego przez towar suszony temperatura tego gazu stopniowo spada.

Pragnąc sformułować matematycznie wyżej omówione zjawiska cieplne, które zachodzą w suszarniach, skonstruowałem 3 następujące zasadnicze wykresy [1]).

Wykresy I, II i III (rys. 34, 35, 36) charakteryzują własności pary wodnej i powietrza (lub innego gazu obojętnego), jako składowych części gazów, które przepływają przez suszarnię: górne części tych wykresów stosują się do pary wodnej, dolne do powietrza; we wszystkich trzech wykresach oś pozioma jest osią temperatur °C. Na wykresie I (rys. 34) odkładam 1) prężności pary wodnej nasyconej (jako funkcje temperatury) oraz 2) ciśnienia tej pary, stanowiące 80, 60, 40 i 20% wymienionej prężności. Będą to



Rys. 34. Wykres prężności pary wodnej w powietrzu w zależności od stanu nasycenia tej pary i temperatury, przy stałem ciśnieniu $p = 760$ *mm*

[1]) A czasami i inne gazy.

[2]) Obniżenie to w pierwszem przybliżeniu określa jedno z podstawowych praw chemji fizycznej, mianowicie prawo Raoulta: $p = f.n$ (88) gdzie p — ciśnienie cząstkowe badanego składnika (a dla roztworu wodnego ciał stałych obniżona prężność pary wodnej) n — stężenie molowe względne składnika w cieczy, f — prężność pary czystego składnika w danej temperaturze. Od prawa tego mamy jednak bardzo liczne odchylenia wskutek powstawania w roztworach połączeń chemicznych.

[3]) W przeciwnym bowiem razie z braku wymiany ciepła pomiędzy gazem a roztworem parowanie odbywało by się kosztem zawartości ciepła samego roztworu, a więc spowodowałoby spadek temperatury roztworu.

[4]) W suszarniach przeciwprądowych gazy odlotowe ogrzewają przedewszystkiem sam towar suszony i w ogrzewaniu tem bierze udział również i para wodna w gazie tym zawarta. Dla tego też u wylotu z suszarni para ta nie tylko może przejść w stan nasycenia, ale w niektórych wypadkach nawet skrapla się częściowo na powierzchni suszonego materjału.

[5]) Wyjątek stanowią suszarnie specjalne, w których ciało suszone ogrzewane bywa bezpośrednio (przeponowo) z innego źródła ciepła.

[6]) Ciepło to gaz mógł otrzymać: a) albo w specjalnym aparacie, stanowiącym integralną część suszarni, nprz. ogrzewanym gazami spalinowemi lub parą wodną, b) albo niezależnie od suszarni. Do tego ostatniego typu należą gazy odlotowe z pod kotłów parowych i z pieców stosowane do celów suszarniczych. Typ pośredni stanowią suszarnie ogrzewane gazami spalinowemi, otrzymanemi bezpośrednio ze specjalnych palenisk, stanowiących również integralną część suszarni.

[1]) Wykresy te wykonane zostały w zakładzie maszynoznawstwa og. i chem. politechn. warsz. pod mojem kierownictwem w pracach dyplomowych (obecnie już inżynierów chemików) p. kpt. Erazma Fonberga i p. Zofji Metzówny. W artykule niniejszym podaję właściwie *schematy* wymienionych wykresów i pomijam cały szereg szczegółów, tyczących obliczeń, na których wykresy te są oparte, jak nprz. pomijam sprawę ciepła właściwego pary przegrzanej pod ciśnieniem niższem od atmosferycznego.

zatem prężności pary wodnej nasyconej w temperaturach niższych a następnie odpowiednio przegrzanej, lub jak przyjęto wyrażać się w technice suszarniczej, — będą to ciśnienia tej pary odpowiadające pewnym $^0/_0$ nasycenia. Ogólne ciśnienie w suszarni przyjmuję $P = 760$ *mm Hg*. Dolną część wykresu stanowią ciśnienia cząstkowe powietrza, które wraz z wyżej omówionemi ciśnieniami pary wodnej dają w sumie ciśnienie P.

Na podstawie wykresu I możemy obliczyć ilości G *kg* pary wodnej, przypadające na 1 *kg* gazu obojętnego. A mianowicie, jeżeli oznaczymy ciśnienia cząstkowe pary wodnej i powietrza p_w i p_p, ciężary molowe przyjmiemy 18 i 29, to liczby moli tych gazów w pewnem miejscu suszarni według prawa Daltona będą

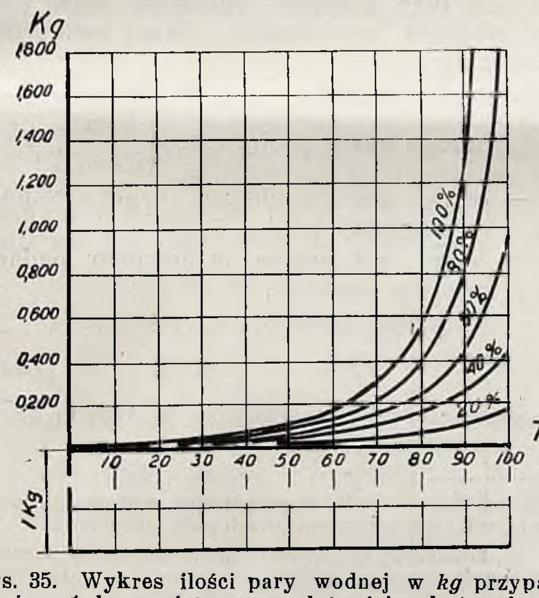
$$n_w : n_p = p_w : p_p,$$

a zatem

$$G = 18 n_w : 29 n_p = 18 p_w : 29 p_p \qquad (89)$$

Zależności te dla różnych temperatur i różnych $^0/_0$ nasycenia wyraża nam wykres II (rys. 35). Gdy

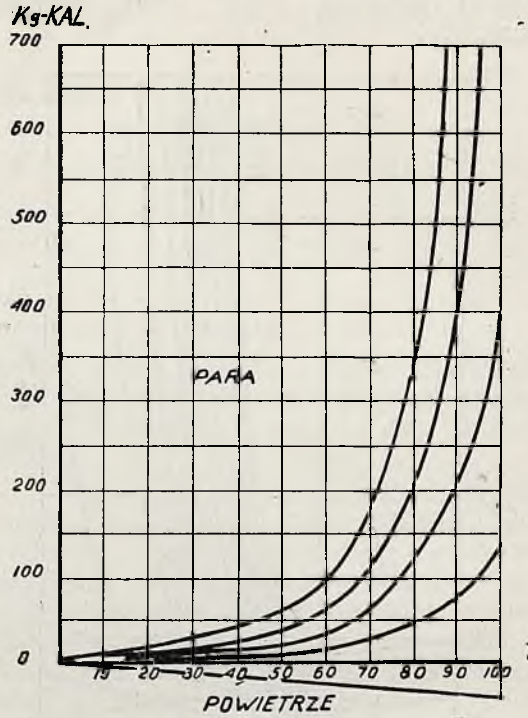
$$p_w = P, \; p_p = 0, \; G = \infty,$$



Rys. 35. Wykres ilości pary wodnej w *kg* przypadającej na 1 *kg* powietrza w zależności od stopnia nasycenia pary wodnej i temperatury przy stałem ciśnieniu $p = 760$ *mm*

a zatem w odpowiednich temperaturach krzywe zbliżają się asymptotycznie do rzędnych pionowych[1]).

Wreszcie wykres III wyraża nam ilości ciepła, odpowiadające ściśle krzywym wykresu II (rys. 36); w dolnej części mamy zawartości ciepła w 1 *kg* powietrza, w górnej zawartości ciepła w G *kg* pary wodnej przy różnych $^0/_0$ nasycenia. Ten sam wykres podany został powtórnie na rys. 37 w nieco szerszym zakresie (do 150° zamiast 100°)



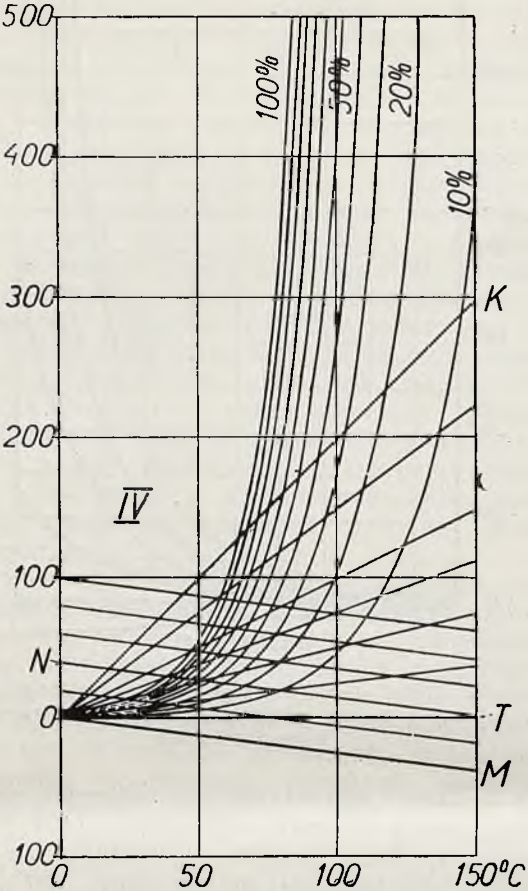
Rys. 36. Ilości ciepła zawarte w parze wodnej odpowiadającej 1 *kg* powietrza przy różnych nasyceniach i temperaturach

i z pewnemi uzupełnieniami. Krzywą zawartości ciepła w gazie obojętnym OM przyjmuję za linję prostą. Zakładam, że gaz wchodzi do suszarni np. w temp. 150°. Pomijając zużycie ciepła 1) na ogrzanie części stałych suszonego materjału, 2) na straty wskutek nieidealnej izolacji, — dochodzę do wniosku, że proces nasycania gazu parą wodną zachodzić będzie wzdłuż linji TN (teoretycznie do krzywej $100^0/_0$ nasycenia) Równolegle do MO i TN na rys. 37 mamy cały szereg prostych: jedna z nich odpowiada 100 *Kcal* wprowadzonym do suszarni z 1 *kg* gazu obojętnego[1]).

[1]) Czego nie widać z rys. 35.

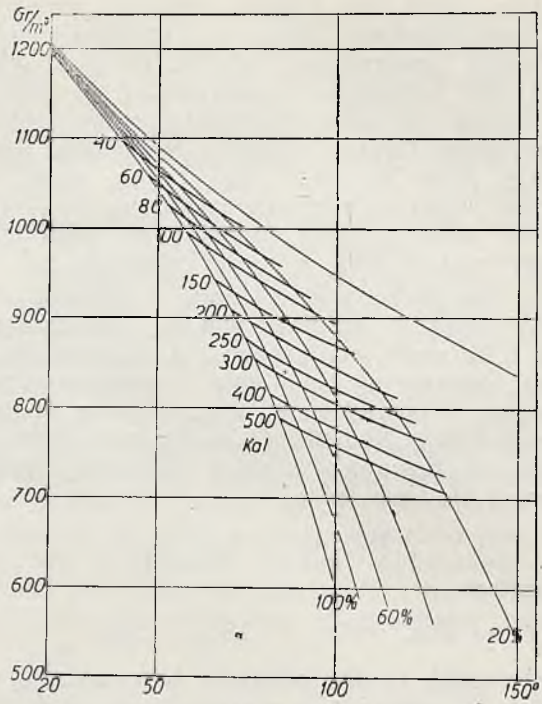
[1]) Wyżej omówione proste (odpowiadające pewnej ściśle określonej ilości kaloryj, wprowadzonych z 1 *kg* gazu obojętnego, pokazują wyraźnie, że efekt cieplny 1 *kg* gazu będzie tem większy, im wyższą jest temperatura wchodzącego gazu. Pewną wątpliwość w tej sprawie nasuwa ta okoliczność, że nasycenie graniczne ($100^0/_0$) dla linij wyżej położonych (tj. odpowiadających większej pierwotnej zawartości ciepła) odpowiadać będzie wyższym temperaturom, a więc większym stratom ciepła w gazie obojętnym, uchodzącym z suszarni. Aby wątpliwość tę wyjaśnić na rys. 37 z punktu O przeprowadzono szereg promieni, nprz. OK: są to linje jednakowego *cieplnego* skutku użytecznego suszarni, tj. jednakowego stosunku pomiędzy zawartością ciepła w 1 *kg* gazu obojętnego i G *kg* pary H_2O. Im pod większym kątem biegnie promień, tem wyższy jest skutek cieplny 1 *kg* gazu. Uwzględniając zatem owe „promienie" dojdziemy z rys. 37 do wniosku, że im więcej kaloryj wprowadzimy do suszarni, tem wyższy będzie skutek cieplny pracy gazu dla pewnego określonego stopnia nasycenia

A zatem prosta TN i inne jej równoległe charakteryzują nam (w pierwszem przybliżeniu) przebieg pracy gazu obojętnego w suszarni.



Rys. 37

Dla linij TN skonstruowałem wykres IV (rys. 38) ciężarów właściwych gazu nasyconego parą wodną w różnych stopniach (20 — 100%). Na osi poziomej mamy tu jak zawsze temperatury, na osi pionowej ciężary wł. gazu w gr/m^3, a następnie dwie wiązanki krzywych: jedna — (opracowana na podstawie wykresu I[1]) pokazuje nam zależności pomiędzy ciężarami właściwemi i stopniem nasycenia gazu parą wodną; na tych krzywych (na zasadzie wykresu III rys. 37) wyznaczone zostały punkty odpowiadające prostym TN dla różnych ilości kaloryj (40 — 500) wprowadzonych z 1 *kg* powietrza, a punkty w ten sposób otrzymane połączono specjalnemi grubemi krzywemi. Z wykresu tego widzimy, że gdy 1 *kg* powietrza nasyca się parą wodną kosztem ciepła w nim zawartego, to temperatura otrzymanego gazu opada a ciężar właściwy wzrasta[2]).



Rys. 38

Do tych samych wniosków dojść możemy również bezpośrednio drogą analityczną. Oznaczmy

c — ciepło właściwe 1 mola powietrza lub innego gazu obojętnego $\left(\frac{Kcal}{Kmol}\right)$,

T — temp. *abs* powietrza wprowadzonego do suszarni,

t — temp. *abs* gazów w pewnem badanem miejscu suszarni,

P — ciśnienie sumaryczne tych gazów

$$(P = \sim 1\ atm),$$

p_p — ciśnienie cząstkowe w tych gazach powietrza,

[1]) W założeniu, że 1 mol *gr* gazu w 0° pod ciśn 760 *mm* G_g zajmuje obj. 22,4 litr.

[2]) Z zestawienia wykresów III i II można wywnioskować, ile wody może odparować w suszarni 1 *kg* powietrza, zależnie od temperatury początkowej (lub od ilości ciepła dodatkowego wprowadzonego do suszarni) i od ostatecznego stopnia nasycenia.

Metoda wyżej opisana stanowi dalsze rozwinięcie analogicznego ujęcia destylacji z parą wodną; ogłoszonego przezemnie w artykule.

„Destylacja z parą wodną w oświetleniu graficznem" (Przemysł chem. 1924 Nr. 1).

Przypuszczam, że wykresy I—IV (o których referowałem już na I Zjeździe Chemików Polskich w Warszawie, w 1923 r., lecz o których nie miałem dotąd możności podać bardziej szczegółowego referatu do druku) są bardziej przejrzyste i łatwiejsze do zrozumienia, niż

1) wykres Ix dla powietrza wilgotnego prof. Molliera (patrz Z. V. D. I. 1923 lub Dipl. Ing. M. Hirsch. Die Trocknentechnik. Berlin Springer 1927 str. 23,

2) lub analogiczne wykresy R. Martin'a (Chaleur et industrie 1926 str. 595 i 1927 str. 48 lub wykres L. Pierre'a (Chal. Ind. 1926 str. 570).

Mniej pełne wykresy czytelnik znajdzie w dziele Hausbranda „Das Trocknen mit Luft und Dampf".

$(P-p_p)$ — ciśn. cząstk. pary wodnej,

$p_p : P = p$ — stężenie molowe powietrza w gazach,

$$(P - p_p) : p_p = \left(\frac{1}{p} - 1\right) = n$$

ilość moli pary wodnej na 1 mol powietrza w gazach badanych,

i — zawartość ciepła w 1 molu tej pary (tj. w temperaturze t) liczona od t_0—*abs* temperatury towaru surowego,

$c\ (T - t_0)$ odpowiednia zawartość ciepła w 1 molu gazu obojętnego absolutnie suchego wprowadzona do suszarni.

Wtedy

$$c\ (T - t) = n\, i = \left(\frac{1}{p} - 1\right) i \qquad (89)$$

będzie to ilość ciepła, którą gaz obojętny stracił na odparowanie wody z suszonego materjału,

skąd

$$t = T - \left(\frac{1}{p} - 1\right) \frac{i}{c} = T + \Theta - \Theta : p \qquad (90),$$

gdzie

$$i : c = \Theta \qquad (91)$$

będzie to ilość stopni, o jaką ostygnie 1 mol gazu obojętnego zamieniając na parę o temp. t (abs) n moli wody zawartej w suszonym towarze (co powoduje spadek stężenia tego gazu w mieszaninie do p). Spróbujmy zorjentować się, jaką wartość posiada Θ.

Przypuśćmy, że

$$t_0 = 273 + 20^0,\ t = 273 + 80^0,$$

wtedy

$$i = 18\ (632 - 20) = 11016\ Kcal/Kmol$$

$$c = 0{,}24\ .\ 29 = \sim 7\ Kcal/mol,\ stop,$$

$\Theta = 1573$ tj. około 1600^0.

Obliczmy teraz objętość właściwą $v\ m^3/kg$ gazów w badanem miejscu suszarni. Ciężar molowy mieszaniny powietrza z parą wodną (*kg/Kmol*) będzie

$$M = [29\, p_p + 18\, (P - p_p)] : p = 18 + 11\, p \qquad (92),$$

a zatem w temp. t abs.

$$v = \frac{22{,}4\ t}{273 M} \qquad (93),$$

skąd

$$\frac{273\ .\ 11}{22{,}4}\, v = \frac{(T + \Theta)\, p - \Theta}{(1{,}64 + p)\, p} = y$$

gdzie y jest funkcją proporcjonalną do v.

A wtedy

$$\frac{dy}{dp} = \frac{1{,}64\ \Theta + 2\Theta p - (Tp^2 + \Theta p^2)}{(1{,}64\ p + p^2)^2} \qquad (94).$$

W liczniku

$$1{,}64\ \Theta > p^2\ T$$

$$2\ \Theta > p\ \Theta \text{ (gdyż } \Theta > T, \text{ zaś } p < 1),$$

a zatem

$$dy : dp > O,$$

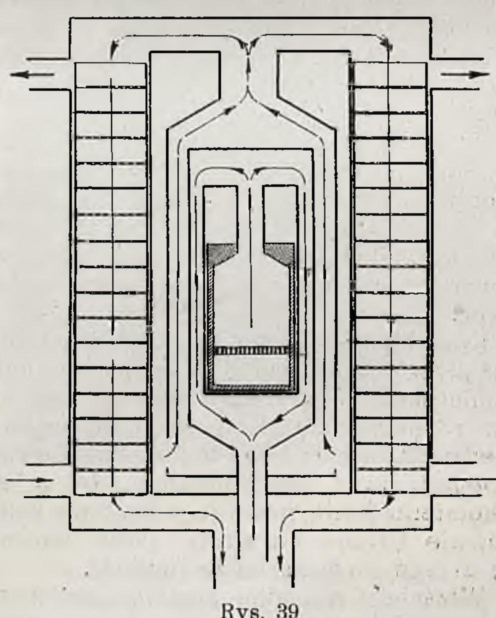
skąd

$$dv : dp > O,$$

czyli w miarę spadku p (tj. w miarę nasycania gazu parą wodną) objętość właściwa tego gazu maleje, więc ciężar właściwy wzrasta [1]).

Z przykładów w rozdziale niniejszym podanych widzimy, że ciężar właściwy gazów suszących (w suszarniach bez dodatkowego ogrzewania komory suszącej) wzrasta, a zatem suszenie odbywać się powinno w *opadającym* prądzie gazów.

Jako przykład suszarni z prądem nienaturalnym służyć może suszarnia Huillarda (rys. 5 rozdz. 5), która tylko dzięki energicznemu mieszaniu sypkiego towaru daje zadawalniające rezultaty. Jako przykład suszarni z racjonalnemi kierunkami gazów podać mogę suszarnię prof. Wacława Iwanowskiego (rys. 39).



Rys. 39

Na rysunku tym widzimy schemat suszarni (zwanej przez autora słupową) dwu-

[1]) Straty ciepła przez ściany suszarni i zużycie ciepła na podgrzanie substancyj stałych suszonego towaru (czego nie uwzględniliśmy w wykładach wyżej podanych) powodują dodatkowy wzrost ciężaru właściwego gazów.

szafowej. We środku suszarni mamy palenisko; z paleniska gazy spalinowe opadając wdół ogrzewają kaloryfer, przez który w przeciwprądzie (a więc również w kierunku naturalnym) przechodzi ogrzewane powietrze. Z kaloryferu powietrze wchodzi do komory suszącej (szafy) zapełnionej sitami, na których leżą suszone owoce lub warzywa. Powietrze przepływa przez komorę z góry na dół (więc znów w kierunku naturalnym), a sita w przeciwprądzie przy pomocy specjalnej dźwigni unoszone bywają z dołu do góry: surowe owoce wprowadzamy z dołu, a wysuszone usuwamy z góry. Powietrze nasycone parą wodną wraz z gazami spalinowemi wchodzi do wspólnego komina [1]).

W suszarniach *z dodatkowem ogrzewaniem* komor suszących przy wprowadzeniu do komory dostatecznej ilości ciepła temperatura prądu gazowego utrzymuje się na stałym poziomie lub nawet podnosi się, a wtedy gazy *do góry unosić się* powinny.

[1]) Zasady racjonajnej budowy suszarń nie zyskały dotychczas prawa obywatelstwa w technice. Nawet na wystawach spotykać jeszcze w czasach obecnych można suszarnie (bez dodatkowego ogrzewania komory suszącej), w których gazy posiadają nieracjonalne kierunki odwrotne do kierunków w suszarni prof. *Iwanowskiego* (w kaloryferze powietrze posiada kierunek wdół a w komorze suszącej w górę).

Jeszcze przed wojną prof. *Iwanowski* (wówczas jako inżynier rosyjskiego ministerstwa rolnictwa) przeprowadził specjalne badania nad suszarniami różnych typów (z których żadna nie odpowiadała wymaganiom racjonalnego ciągu) w Humańskiej szkole rolniczej (w Zofjówce) i rezultaty ogłosił w broszurze: *Ispytanje płodowych i owoszcznych suszyłok* Petersburg 1914 (wydanie Departamentu Rolnictwa).

(D. c. n.).

EKSPLOZJA LOKOMOBILI

Dnia 20 maja b. roku o godzinie 11 rano w południowo-wschodniej dzielnicy Kielc słyszana była dość silna detonacja, spowodowana eksplozja, przynitowanego do płaszcza lokomobili, odlewu, obejmującego cylinder, skrzynkę suwakową silnika, oraz zawory bezpieczeństwa.

Wypadek dotyczył lokomobili na kołach z wyciągalnym systemem rurowym, zbudowanej w zagranicznej firmie w 1896 r. na ciśn. rob. 7 *atn*, o pow. ogrzew. 9,229 m^2. Normalna ilość obrotów nie jest ściśle znana, gdyż w książce kotłowej nie podano jej.

Kocioł oddawna znajduje się pod nadzorem Stow. Dozoru Kotłów w Warszawie; w ubiegłym roku, nabyty przez Przedsiębiorstwo Robót Inżynieryjnych, został sprowadzony do Kielc i pracował jedynie jako kocioł z nieczynną częścią silnikową—przy budowie mostów.

Kocioł podlegał rewizji, to też właściciel został przez inż. Dozoru Kotłów powiadomiony o konieczności przedstawienia do niej kotła przed rozpoczęciem kampanji, a w braku odpowiedzi od właściciela, zostało mu wysłane przypomnienie z oznajmieniem, że w razie uruchomienia kotła, praca jego zostanie wstrzymana, nie bacząc na straty jakie właściciel kotła z tego powodu może ponieść.

Właściciel nie miał zamiaru uruchamiać kotła w najbliższej przyszłości, to też lokomobila pozostawała nadal w miejscu swego zimowego postoju, gdzie miejscowy mechanik dokonywał naprawy silnika lokomobili.

Naprawa polegała na: wylaniu babitem panewek łożysk wału korbowego i przetoczeniu ich, zmianie mosiężnych panewek korbowodu przy korbie, wylaniu babitem tulejki prowadzącej drążek suwaka, dotarciu zaw. bezpieczeństwa, oczyszczeniu tłoka i wykonaniu różnych drobnych poprawek.

Wypadek nastąpił podczas nieobecności właściciela w Kielcach, który wyjeżdżając miał zakomunikowac mechanikowi, iż przed dokonaniem urzędowej rewizji kotła uruchamiać nie można.

Mechanik jednak, pomimo zakazu rozpalania kotła, uruchomił lokomobilę, aby wypróbować silnik po naprawie. Silnik pracował przy najniższem położeniu regulatora, gdyż nie był on połączony przekładnią pasową z wałem. Do chwili eksplozji lokomobila pracowała około 30 minut. Przez cały czas próby i podczas eksplozji najwyższe ciśnienie pary wynosiło — według wskazań manometru — 4 *atn*, a silnik wykonywał nieznaczną ilość obrotów, a mianowicie, z oceny na oko, wynoszącą nie więcej jak 80 obrotów na minutę.



Rys. 1

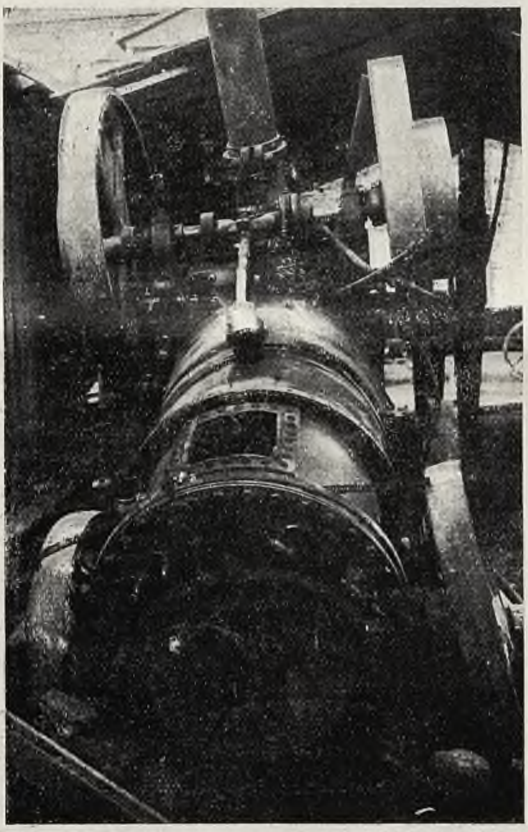
W momencie eksplozji mechanik nie manewrował zaworem, doprowadzajacym parę z kotła do skrzynki suwakowej. Silnik obracał się tak,

że górna część wieńca koła zamachowego miała kierunek od strony odkorbowej do strony kukorbowej.

Dane powyższe zebrano w drodze przesłuchania świadków wypadku.

Podczas oględzin miejsca wypadku, przedstawionego na fotografjach rys. 1, 2 i 3 ustalono następujące:

1) Lokomobila podczas eksplozji zaryła się przedniemi kołami w ziemię, pochylając się na lewą stronę (ze stanowiska palacza) tak, iż przednie lewe koło pogrążyło się poniżej poziomu terenu na 600 *mm* (rys. 1)
2) Z przynitowanego do płaszcza kotła odlewu, obejmującego cylinder silnika, skrzynkę suwakową i zawory bezpieczeństwa,—pozostał tylko czworokątny kołnierz przynitowany do płaszcza kotła. Wymiary kołnierza i pęknięcia pokazano na rys. 4.
3) Podłużne krawędzie otworu w blasze płaszcza posiadają wygięcie ku górze:— lewa około 10 *mm*, prawo około 3 *mm*. (rys. 2).
4) W każdym z czterech rogów ma miejsce naderwanie blachy płaszcza kotła od krawędzi do nita.
5) Oberwanie piasty krzyżulca łączącej krzyżulec z drągiem tłoka i zgięcie korbowodu.
6) Połamanie prowadnicy krzyżulca.
7) Oberwanie piasty żeliwnej przy jarzmie mimośrodu suwakowego.
8) Oberwanie króćca, w którym był wkręcony manometr. Manometr wskazuje zero i zewnętrznie nie nosi śladów uszkodzenia, nawet szkło zostało przy nim całe. Załączona tabela № 1, sporządzona przy cechowaniu manometru, wykazuje, iż nawet po wypadku, niedokładność wskazań manometru nie jest znaczna.
9) Oberwanie smoczka (injektora).
10) Oderwany odlew, obejmujący cylinder i skrzynkę suwakową silnika, oraz zawory bezpieczeństwa kotła (rys 3), upadł z prawej strony kotła ku tyłowi w odległości od środka kołnierza, pozostałego na kotle, przeszło 20 *m*, tak że jeżeli wymiar ten przyjąć za długość przeciwprostokątnej, to przyprostokątna prostopadła do osi kotła wynosi 18 *m*, a przyprostokątna równoległa do osi kotła 10 *m* rys. 4.
11) Lewa ściana (ze stanowiska palacza) odlewu, omówionego w punkcie (10), o wymiarach 335 × 220 *mm*, oderwała



Rys. 2

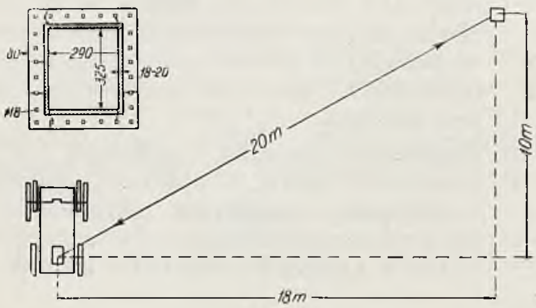


Rys. 3

się podczas eksplozji i wpadła, przebijając ścianę, do drewnianej szopy, obok której stoi lokomobila.

12) Zgięcie drążka tłoka i suwaka oraz oberwanie rury pary wylotowej.

13) Zawory bezpieczeństwa dźwigniowe, sprężynowe, nie posiadają rurek zabezpieczających przed zbytniem dociśnię-



Rys. 4

ciem grzybków do gniazda, a odpowiednie wymiary wynoszą: przy prawym zaworze $h=18$ *mm* i przy lewym $h = 40$ *mm*, przyczem uzwojenie na śrubach przy naciąganiu sprężyn nakrętkami nie zostało na żadnym z zaworów wyczerpane.

14) Po odjęciu denka cylindra stwierdzono, iż tłok nie zacinał się w cylindrze. Również nie znaleziono nic nienormalnego w skrzynce suwakowej po zdjęciu jej pokrywy.

15) Brak nakrętek przy dławiku drążka suwakowego. Dławik wraz z częścią warkocza uszczelniającego został wypchnięty nazewnątrz.

16) Wszystkie pęknięcia są nowe.

Ciężkiemu poranieniu i poparzeniu uległo dwóch robotników, a mianowicie jeden uległ złamaniu kilku żeber, drugi złamaniu ręki i nogi, prócz tego kilku ludzi odniosło lekkie rany. Wszyscy poszkodowani nie należeli do obsługi lokomobili i podczas wypadku znajdowali się w pobliżu niej mniej lub więcej przypadkowo. Wybuch mógłby się zakończyć znacznie gorzej, gdyż nastąpił w czasie, kiedy robotnicy przedsiębiorstwa, na terytorjum którego stała lokomobila, mają przerwę w pracy i spożywają posiłek w pobliżu miejsca, gdzie upadł ciężki odlew w odległości około 20 *m* od lokomobili.

Konstrukcja maszyny jest stara i wadliwa, nie należy bowiem żeliwa przymocowywać bezpośrednio do kotła zapomocą nitów. Do kotła przymocowywuje się normalnie staliwo, gdyż to znosi nitowanie, a żeliwo nie.

Dane, zebrane podczas oględzin lokomobili na miejscu wypadku, nie pozwoliły na ścisłe określenie bezpośredniej przyczyny eksplozji, pozwalają jednak stwierdzić, iż wypadek nie został spowodowany przez nadmiernie wysokie ciśnienie w kotle, lecz że nastąpił wskutek jakiegoś uderzenia. Z pewnym stopniem prawdopodobieństwa wypadek można przypisać jednej z trzech następujących okoliczności wyszczególnionych niżej w punktach A, B i C.

A. Część maszynową po dłuższej nieczynności (w poprzedniej kampanji lokomobila pracowała tylko jako kocioł) odremontowano. Przy montowaniu pozostawiono zbyt małą przestrzeń szkodliwą po stronie kukorbowej (tj. odległość tłoka od denka strony kukorbowej); odległość ta zmniejszała się jeszcze wskutek rozgrzewania się kotła. W chwili, kiedy omawiana odległość została całkowicie zagubiona, tłok uderzył o denko cylindra od strony kukorbowej. Działanie było tem silniejsze, iż wywołane zostało przez uderzenie tłoka w denko cylindra od strony kukorbowej przy maksimalnem napełnieniu (najniższe położenie nieczynnego regulatora) i następne szarpnięcie karbowodu (2 koła zamachowe). Lewa ściana oderwać się mogła od pozostałej części odlewu w chwili odrywania się odlewu od płaszcza kotła.

Z powyższem przypuszczeniem odnośnie przebiegu wypadku zgadza się kierunek, w którym został odrzucony odlew: prawą stronę zawdzięcza się działaniu reakcji podczas odrywania się lewej ścianki, kierunek zaś ku tyłowi wywołało szarpnięcie korby w martwym punkcie kukorbowym. Zgięcie korbowodu ku prawej stronie nastąpiło w chwili odrywania się od krzyżulca drąga tłokowego.

Charakter uszkodzenia płaszcza kotła, opisany w punkcie 3 i 4 zgadza się również z powyższem przypuszczeniem. Ani jednak na denku od strony kukorbowej, odlanym łącznie z cylindrem, ani na tłoku, jakoteż i na drążku tłokowym przy połączeniu z tłokiem, niema śladów uderzeń, co może jednak nie przeczyć przytoczonemu przypuszczeniu przyczyny wypadku, gdyż i wewnętrzna strona denka jakoteż i odpowiednia ścianka tłoka są zupełnie płaskie, a przejście od tłoka do drążka tłokowego jest uskutecznione wyraźnie pod prostym kątem bez jakichkolwiek zaokrągleń.

B. Podczas próbnej pracy kotła wpadło obce twarde ciało w prowadnicę krzy-

żulca, połączoną z korpusem cylindra, pomiędzy krzyżulec i korpus cylindra, wobec czego przy ruchu tłoka w stronę odkorbową zgiął się korbowód i jednocześnie nadłamał się odlew cylindra w miejscu połączenia z kotłem, który przy następnym ruchu korby w stronę kukorbową został zerwany wobec skróconego przez zgięcie korbowodu.

C. Na krótko przed próbnem uruchomieniem kotła, wskutek jakiegoś uderzenia uległa lewa ściana, o której mowa w punkcie 11, pęknięciu, co spowodowało oderwanie się jej po uruchomieniu. Ściana ta nieopancerzona blachą, była dostępna. Kierunek ruchu, oderwanego od kotła zasadniczego, omawianego w p. 10, odlewu jest zgodny z tem przypuszczeniem. Pogrążenie się w ziemię lewego przedniego koła zostało wywołane dzięki częściowemu obróceniu się lokomobili według linji przechodzącej przez punkty styku z ziemią przedniego i tylnego — prawych kół, od reakcji działającej przy wylatywaniu omawianej ścianki w lewą stronę — następnie dzięki powrotowi lokomobili na dawne miejsce przy towarzyszącem uderzeniu o ziemię lewych kół, a głównie przedniego. O ile pęknięcie przez uderzenie omawianej ściany miało miejsce bezpośrednio przed wybuchem, można je było określić podczas badania jako nowe. Powyższe przypuszczenie pokrywałoby się z okolicznością, iż na kilka dni przed eksplozją miało miejsce złośliwe uszkodzenie lokomobili przez wykręcenie kilku części, które nie miało na celu kradzieży.

T A B E L A 1.

Obciążenie kg/cm^2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wskazania skali przy podnoszeniu obciążenia	0,1	1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,35	7,35	8,3	9,25	10,1
Wskazania skali przy zmniejszaniu obciążenia	0,1	1,5	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,4	8,4	9,4	10,1

Z. K.

Ś. P. TOMASZ KOCIATKIEWICZ

(Wspomnienie pośmiertne).

W dniu 19 października 1930 roku zmarł w Warszawie po długich i ciężkich cierpieniach ś. p. Tomasz Kociatkiewicz, Kandydat Nauk Matematycznych Uniwersytetu Warszawskiego, b. długoletni pracownik dróg Żelaznych Iwangrodzko-Dąbrowskiej, Fabryczno-Łódzkiej i Warszawsko-Wiedeńskiej, przedstawiciel Rady Zjazdu Przemysłowców Górniczych i Hutniczych Zagłębia Dąbrowskiego i Krakowskiego, Członek Państwowej Rady Kolejowej, Członek Zarządu i Rady Centralnego Związku Polskiego Przemysłu, Górnictwa, Handlu i Finansów, b. Członek Komisji Rewizyjnej Banku Polskiego, Viceprezes Komitetu Obywatelskiego Miasta Warszawy, b. Profesor W. S. H.

Ś. p. Tomasz Kociatkiewicz był od 1922 roku Viceprezesem Zarządu i Członkiem Rady Nadzorczej, oraz Delegatem Członków Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie, które stale korzystało z Jego cennych rad i głębokiego doświadczenia przy rozstrzyganiu spraw związanych z działalnością tej instytucji.

Zmarły odznaczał się trafnością i przejrzystością swych przemówień, zdążających zawsze do konkretnego celu, to też był bardzo cenionym i pożądanym członkiem Władz Stowarzyszenia.

Na Walnych Zgromadzeniach Delegatów Członków Stowarzyszenia ś. p. Tomasz Kociatkiewicz był zawsze jednomyślnie wybierany na przewodniczącego Zebrań, które prowadził sprężyście, dzięki czemu debaty kończyły się zawsze uchwałami ku ogólnemu zadowoleniu zebranych.

Nadwątlone zdrowie zmusiło ś. p. Tomasza Kociatkiewicza do ustąpienia w 1929 roku z Władz Stowarzyszenia ku powszechnemu żalowi współtowarzyszów pracy, czemu dała wyraz Rada Nadzorcza Stowarzyszenia wyrażając jednomyślnie ś. p. Tomaszowi Kociatkiewiczowi serdeczne podziękowanie za gorliwą współpracę.

Nieubłagana śmierć przecięła pasmo Jego pracowitego i pożytecznego żywota.

Cześć Jego pamięci.

KRONIKA TECHNICZNA

Cieplarnie w siłowni Klingenberg.

Szczegóły budowlane.

Miejskie Zakłady Elektryczne w Berlinie, założyły w miesiącach zimowych 1928/29 w siłowni Klingenberg wielką cieplarnię z oddziałami dla hodowli ogórków, pomidorów i kwiatów. Budowle zajmujące około 10000 m² zabudowanej powierzchni, mogą być rozszerzone o dalszych 5000 m².

Oddział hodowli ogórków obejmuje dwanaście budynków, każdy po 4 m szerokości, 2,5 m wysokości i 80 m długości. Tworzą one wraz z oddziałem sadzonek jeden blok. Cały zakład posiada jeden wspólny oddział sadzonek. Od oranżerji dla ogórków różni się ten budynek tylko dodaniem stołów, ustawionych po obu stronach środkowego przejścia. Skoro sadzonki tak podrosną, że mogą już być przeniesione do poszczególnych oddziałów, używa się tego budynku, po usunięciu stołów, jako oranżerji dla ogórków.

Oddział hodowli pomidorów obejmuje siedem budynków, każdy po 9,1 m szerokości, 4 m wysokości i 67 m długości. Tworzą one również jeden blok. Sąsiadujący z blokiem budynek o 20 m długości, służący obecnie jako narzędziarnia, jest przy rozbudowie przewidziany na dalsze cieplarnie dla pomidorów.

Oba bloki budynków są połączone halą służącą do przebierania, pakowania i wysyłki owoców. Jest ona 8 m szeroka, 4 m wysoka i 66 m długa.

W oddziale kwiatów, pomieszczonym w budynku, o 6 m szerokości i 80 m długości, sąsiadującym z blokiem oddziału ogórków, są hodowane rozmaite rodzaje kwiatów, które służą do ozdoby klombów na całym terenie siłowni Klingenberg.

Urządzenia cieplne.

Para pobierana z turbin o ciśnieniu 3,5 *ata* i temperaturze 180 — 200°*C*, jest doprowadzana do wymienników ciepła, umieszczonych w kotłowni. Jako medjum przenoszące ciepło służy woda, która jest doprowadzana do cieplarni 400 m długim rurociągiem. Temperatura wody w rurociągu doprowadzającym wynosi 120°*C*, w odprowadzającym 70°*C*, w obrębie cieplarń temperatura wynosi 90°*C* i 70°*C*. Pompy przetłokowe są umieszczone bezpośrednio przed wymiennikami ciepła w rurociągu odprowadzającym wodę z cieplarń.

Przy powiększeniu zakładu do 15000 m² zabudowanej powierzchni, są przewidziane trzy wymienniki ciepła. Obecne zapotrzebowanie zakładu przy 10000 m² pokrywają dwa leżące wymienniki ciepła dla 2,5 miljonów *kal/h* maximalnego obciążenia. Każdy z nich ma 55 m² powierzchni ogrzewalnej i ogrzewa wodę do 120°*C*. Konstrukcyjnie są one rozwiązane w ten sposób, że woda spływa po rurkach, przez które przepływa para. W odniesieniu do całkowitej rozbudowy cieplarni wynosi rezerwa wymienników ciepła 50%. Ażeby zużytą parę, lub miarodajne dla przeliczeń ilości ciepła móc ustalić, przepuszcza się kondensat przez miernik wody.

Dla przepompowania ogrzanej wody są przewidziane 3 pompy, które przy całkowitej rozbudowie cieplarni, posiadać będą 50% rezerwę. Obecnie są czynne dwie pompy, każda na 60 m³/*h*, pędzone motorami elektrycznemi prądu zmiennego. Rurociąg doprowadzający ciepłą wodę do cieplarń i rurociąg powrotny mają 150 *mm* średnicy w świetle. Są one położone w ziemi, w kanale betonowym. W rurociągi są wbudowane kompensatory, umieszczone w omurowanych, łatwo dostępnych kanałach. W tych samych miejscach są umieszczone przyrządy odpowietrzające i spustowe. Rurociąg składa się z rur o długości 6 m, spojonych ze sobą. Między stałemi punktami spoczywają rury na łożyskach wałkowych, umieszczonych w sześcio-metrowych odstępach.

Główny rurociąg doprowadzający dzieli się przy wejściu do cieplarń na dwa rurociągi, z których jeden prowadzi wodę do bloku cieplarń ogórków, a drugi do bloku cieplarń pomidorów. Przed wejściem rurociągów do obu bloków jest w każdym rurociągu umieszczony mieszalnik, służący do utrzymywania żądanego spadku temperatur 90/70°*C* przy zewnętrznej temperaturze — 20°*C*. Aby temperaturę wody obniżyć z 120°*C* na 90°*C*, dodaje się wodę z rurociągu powrotnego. Przewód okrężny umożliwia wyłączenie mieszalnika w czasie ruchu. Rurociągi odprowadzające wodę z cieplarń łączą się razem w główny rurociąg odprowadzający.

Przy wyznaczeniu wielkości powierzchni ogrzewalnych kierowano się tem, aby przy zewnętrznych temperaturach — 10°*C*; — 20°*C* były zachowane wewnątrz poszczególnych cieplarń następujące temperatury:

	— 10°	— 20°
w cieplarniach dla ogórków	+ 29	+ 19
„ „ pomidorów	+ 19	+ 9
„ „ sadzonek	+ 29	+ 19

Na tej podstawie przyjęto w oddziale ogórków 2090 m², w dziale pomidorów 1450 m² i w dziale sadzonek 200,5 m², powierzchni grzejnej.

W oddziale ogórków jest poza ogrzewaniem powietrza zastosowane ogrzewanie ziemi. Po obu stronach środkowego przejścia są w głębokości 25 cm. ułożone w szutrze rury grzejne. Szuter jest przysłonięty siatką drucianą, na której dopiero znajduje się ziemia uprawna.

Nawodnienie.

Cieplarnia jest nawadniana wodą deszczową lub odpływającą z siłowni wodą chłodzącą. Zakład pomp tłoczących, urządzony na wzór wodociągów domowych, jest umieszczony w bezpośredniem sąsiedztwie z cieplarniami. Woda jest pompowana do miejsc zużycia albo bezpośrednio, albo przez przeciwprądowe podgrzewacze (w zimie). Woda deszczowa jest gromadzona w zbiornikach umieszczonych w cieplarniach pod środkowemi przejściami, wskutek czego nie zajmują one powierzchni użytecznej. Zbiorniki są tak urządzone, że mogą być także włączone do sieci miejskich wodociągów.

Do przewozu owoców i ziemi są zastosowane wózki elektryczne (akumulatorowe), o rozstępie osi 600 *mm* i nośności 750 *kg*.

Celem doświadczeń zastosowano elektryczne naświetlanie sadzonek, które dało zadawalniające wyniki. Naświetlane sadzonki dojrzewały około 14 dni wcześniej. Doświadczenia są przeprowadzane w dalszym ciągu, tak, że nie można jeszcze ustalić konkretnych wniosków. Równocześnie są przeprowadzane badania ogrzewania ziemi zapomocą specjalnego kabla.

Cieplarnie dostarczyły w czasie od połowy kwietnia do końca maja około 50000 sztuk ogórków. *(Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen Nr. 9. 1929).*

M. N.

NOWY INSTYTUT BADAWCZY

W sierpniu b. r. rozpoczęła swoją działalność nowa placówka badawcza pod nazwą „Instytut Gazowy Ska z ogr. odp.“ Celem Instytutu jest:

1) przeprowadzanie badań nad gazami wszelkiego rodzaju i nad urządzeniami służącemi do wytwarzania, transportu i zużywania gazów.
2) wykonywanie projektów i urządzeń służących do wytwarzania, transportu i zużytkowania wszelkiego rodzaju gazów,
3) dostawa takich urządzeń z własnych lub cudzych fabryk,
4) organizowanie spółek oraz przystępowanie w charakterze wspólnika do istniejących spółek o podobnych celach,
5) nabywanie patentów z dziedziny gazownictwa i eksploatacja ich we własnych lub cudzych prrzedsiębiorstwach.

Rada nadzorcza Instytutu składa się z p. p. Prof. Dr. Romana Witkiewicza jako prezesa, Dr. Inż. Stanisława Jamroza, Inż. Brunona Szymańskiego, Inż. Marjana Wieleżyńskiego jako członków.

Zawiadowcą Instytutu jest Inż. Stefan Sulimirski.

Biura Zarządu Instytutu mieszczą się we Lwowie przy ul. Leona Sapiehy 3.

PRZEGLĄD KSIĄŻEK

Hilfsbuch für Betriebsberechnungen. Mit besonderer Berücksichtigung nomographischer Methoden, von B. M. Konorski. Mit 46 Nomogrammen und 13 Kurventafeln und einem Lineal in einer Mappe sowie mit 71 Zahlentafeln und 35 Textabbildungen. Berlin, Verlag von J. Springer 1930.

Pod powyższym tytułem ukazał się na rynku księgarskim, na początku bieżącego roku, ciekawy podręcznik, napisany przez polskiego inżyniera ruchu i wydany w jezyku niemieckim w Berlinie. Stosownie do myśli przewodniej autora podręcznik ma służyć pomocą inżynierom ruchu przy ich codziennej pracy.

Inżynier ruchu ma jako główne zadanie utrzymać powierzoną sobie instalację w stanie pewności ruchu. Być inżynierem ruchu — to przewidywać, a przewidywać — to wyrobić sobie sąd o kwestjach bezpieczeństwa i kwestjach sprawności prowadzonej instalacji.

Jeśli chodzi o bezpieczeństwo, to trzeba sobie zdawać sprawę czy naprężenia i temperatury nie zagrażają życiu ludzkiemu i nie hamują ruchu; jeśli zaś chodzi o sprawność, to trzeba sobie zdawać sprawę, czy nie zachodzi trwonienie energji.

Odpowiedź na powyższe zagadnienia dają przeliczenia; przeliczenia zaś zyskują na wartości im prędzej mogą być wykonane; zresztą w ruchu stoi się często przed koniecznością decyzji nagłych i dobrze jest wtedy mieć możność zdać sobie sprawę, jakie skutki wywołują te decyzje.

Przy przeliczeniach inżynier zazwyczaj posługuje się suwakiem; autor zaś omawianego podręcznik daje mu do rozporządzenia nowy instrument w postaci tablic załączonych do podręcznika. Autorze brał w podręczniku zasadnicze wzory z rozmaitych dziedzin techniki, z któremi styka się inżynier ruchu, i zbudował dla tych wzorów nomogramy, t. zn. wykresy, które przez jedno lub dwukrotne przyłożenie linijki do nomogramu, dają gotowe rezultaty dla nieznanych zmiennych tych wzorów. Należy zaznaczyć, że nomogramy nie zastępują suwaka, przeciwnie suwak jest potrzebny przy nomogramach, gdyż niektóre ze zmiennych zostały zastąpione przez ilorazy i w tej postaci zostały wprowadzone do nomogramów.

Aby jednak pracy inżyniera nie przeciążać autor zużytkował dla podręcznika nomogramy tylko trzy i czteroskalowe.

Podręcznik oprócz wzorów podaje szereg tablic cyfrowych oraz zestawień zaczerpniętych z katalogów firmowych. Ponadto podręcznik podaje mnóstwo przykładów z każdego działu i wskazuje sposób rozwiązania ich za pomocą nomogramów.

Autor zastosował nomogramy dla następujących działów:

I. Ogólny: dodawanie geometryczne i odejmowanie, ciężar prętów i sztab żelaznych i miedzianych.

II. Mechanika i ciepło: szybkość i siła obwodowa, przepływ cieczy i pary przez otwory i przewody, opory, przepływ przez kryzy, termometr, wilgotność, ciśnienie, cieplik i ciężar właściwy pary wodnej, spadek ciśnienia w przewodach, obliczenie przewodów, równanie gazów.

III. Wytrzymałość części maszyn: rozciąganie, ściskanie, ścinanie, wyboczenie (tylko słupów drewnianych), gięcie, skręcanie, obliczanie wałów, napęd pasowy i linowy, koła zębate.

IV. Kotły parowe: procesy spalania, ilość gazów spalinowych, straty i sprawność kotła, komin.

V. Oświetlenie.

VI Elektrotechnika: opór elektryczny, nagrzewanie drutów, przekrój drutów i bezpieczników, wytrzymałość izolacji, spadek napięcia i mocy w przewodach, przeciążenie maszyn elektrycznych.

VII. Zużycie pary i sprawność turbin i maszyn parowych.

VIII. Pompy i wentylatory.

Jak widać z powyższego nomogramy obejmują wszystkie zagadnienia spotykane w ruchu.

Zwięzłość w tego rodzaju podręczniku jest konieczna, jednak autor niekiedy jest nieco za zwięzły, a trzeba pamiętać, że podręcznik powinien wyeliminować stratę czasu na szukanie brakujących wiadomośc w innych źródłach. Np. przy wzorach dla mierzenia ilości przepływającego medjum przez kryzę, trzeba było dodać, że wzory dotyczą kryz o brzegach ostrych, dla uniknięcia pomyłek, oraz że są ścisłe dla wody, gazów i powietrza z dokładnością ± 2 %; dla pary zaś ścisłe w przybliżeniu z warunkiem, że „h" będzie małe.

Przy wzorach Fornera dla zużycia pary przez turbiny, należało zaznaczyć, że są one ważne dla obszaru objętego przez nomogram Nr. 45, aby przestrzec czytelnika przed zamiarem przeliczania zużycia dla innych warunków. Pozatem szkoda, że autor do tablicy 28 nie wciągnął węgli polskich.

Należy podnieść, że podręcznik opracowany jest z b. dużym nakładem pracy i czasu; zgrupowanie materjału i przykładów tworzy praktycznie wybraną, gruntownie przemyślaną i celową całość.

Podręcznik t. zn. nomogramy wymagają czasu dla nabrania wprawy w posługiwaniu się niemi, co początkowo nie jest łatwe, lecz w miarę przyswojenia sobie tej metody oddadzą niewątpliwie posiłkującemu się nieocenione przysługi.

Można go przeto gorąco polecić nietylko inżynierowi ruchu, ale wogóle każdemu inżynierowi, gdyż każdy z nich znajdzie w nomogramach pożyteczne narzędzia pracy.

Wydanie podręcznika b. staranne, jak zwykle wszystkich wydawnictw Springera.

T. Wróblewski, inż.